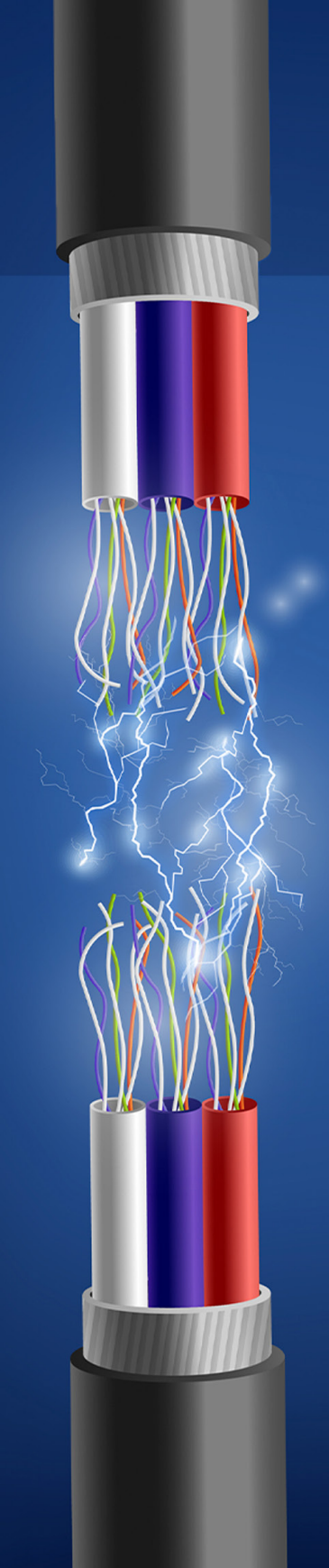
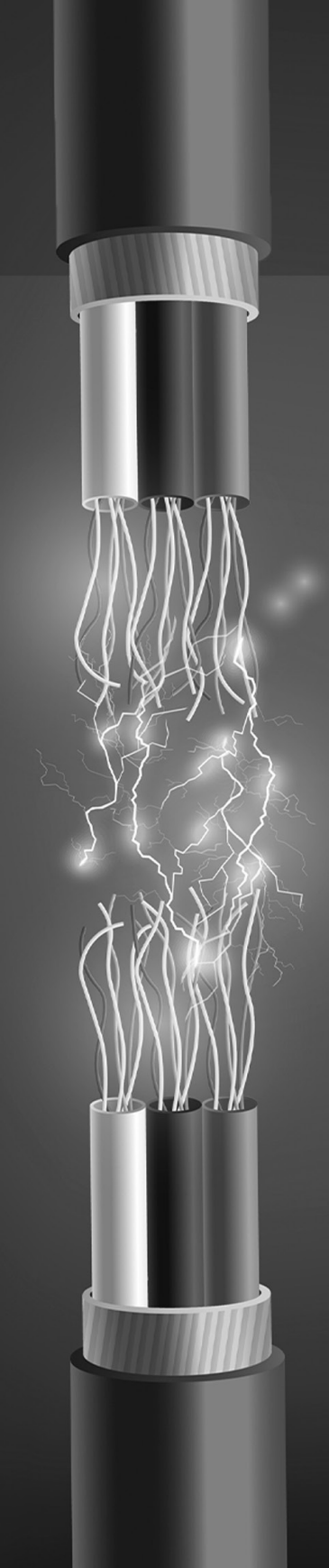


Fabrício Moraes de Almeida
(Organizador)

ENGENHARIA ELÉTRICA:

conceitos fundamentais e aplicações práticas

Atena Editora
Ano 2023



Fabrício Moraes de Almeida
(Organizador)

ENGENHARIA ELÉTRICA:

conceitos fundamentais e aplicações práticas

Atena Editora
Ano 2023

CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA E ENGENHARIAS

Editora chefe
Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira
Editora executiva
Natalia Oliveira
Assistente editorial
Flávia Roberta Barão
Bibliotecária
Janaina Ramos
Projeto gráfico
Camila Alves de Cremo
Ellen Andressa Kubisty
Luiza Alves Batista
Nataly Evilin Gayde
Thamires Camili Gayde
Imagens da capa
iStock
Edição de arte
Luiza Alves Batista

2023 *by Atena Editora*
Copyright © Atena Editora
Copyright do texto © 2023 Os autores
Copyright da edição © 2023 Atena Editora
Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.
Open access publication by Atena Editora

Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição-Não-Comercial-NãoDerivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. Permitido o *download* da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

Conselho Editorial
Ciências Exatas e da Terra e Engenharias
Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto
Profª Drª Alana Maria Cerqueira de Oliveira – Instituto Federal do Acre
Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie
Profª Drª Ana Paula Florêncio Aires – Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro
Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás
Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná

Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Prof. Dr. Fabrício Moraes de Almeida – Universidade Federal de Rondônia
Profª Drª Glécilla Colombelli de Souza Nunes – Universidade Estadual de Maringá
Profª Drª Iara Margolis Ribeiro – Universidade Federal de Pernambuco
Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
Prof. Dr. Juliano Bitencourt Campos – Universidade do Extremo Sul Catarinense
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora
Profª Drª Maria José de Holanda Leite – Universidade Federal de Alagoas
Prof. Dr. Miguel Adriano Inácio – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Prof. Dr. Milson dos Santos Barbosa – Universidade Tiradentes
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Prof. Dr. Nilzo Ivo Ladwig – Universidade do Extremo Sul Catarinense
Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas
Profª Dr Ramiro Picoli Nippes – Universidade Estadual de Maringá
Profª Drª Regina Célia da Silva Barros Allil – Universidade Federal do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Sidney Gonçalo de Lima – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA E ENGENHARIAS

Engenharia elétrica: conceitos fundamentais e aplicações práticas

Diagramação: Camila Alves de Cremo
Correção: Maiara Ferreira
Indexação: Amanda Kelly da Costa Veiga
Revisão: Os autores
Organizador: Fabrício Moraes de Almeida

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

E57 Engenharia elétrica: conceitos fundamentais e aplicações práticas / Organizador Fabrício Moraes de Almeida. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2023.

Formato: PDF
Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader
Modo de acesso: World Wide Web
Inclui bibliografia
ISBN 978-65-258-2169-6
DOI: https://doi.org/10.22533/at.ed.696232212

1. Engenharia elétrica. I. Almeida, Fabrício Moraes de (Organizador). II. Título.

CDD 621.3

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

Atena Editora
Ponta Grossa – Paraná – Brasil
Telefone: +55 (42) 3323-5493
www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br

DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.

DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código Penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access, desta forma* não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de *e-commerce,* ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.

A engenharia elétrica é uma área ampla e diversificada. Dessa forma, desde seus conceitos fundamentais, se concentra no estudo e aplicação da energia elétrica e do magnetismo. Além disso, é importante para o funcionamento da sociedade moderna, desde a geração, transmissão, distribuição e utilização de energia elétrica até os dispositivos eletrônicos, sistemas embarcados para IoT e uma infinidade de aplicações.

Ademais, outras aplicações práticas, por exemplo, podem ser: (1) Microgeração e distribuição de energia elétrica;(2) Eletrônica: projetos e fabricação de dispositivos eletrônicos, circuitos elétricos industriais ou comerciais; (3) Telecomunicações: projetam e operam sistemas de telecomunicação, como redes de computadores, redes de sistemas ou de internet. (4) Automação e controle: automatizar processos industriais ou comerciais; sistemas de automação, como sistemas de controle de processos, sistemas de robótica colaborativa ou industrial. (5) Na Medicina: é usada em várias aplicações médicas, incluindo diagnóstico, tratamento e reabilitação, fabricação de dispositivos médicos, tais como eletrocardiógrafos, tomógrafos, marca-passos e outros diversos sistemas, equipamentos ou dispositivos.

De fato, a engenharia elétrica tem motivações e desafios, isto é, desenvolvimento e aplicação de tecnologias no setor elétrico que otimizam as transformações no cotidiano, na indústria, nos negócios, na saúde, na educação e nos governos.

Portanto, a *engenharia elétrica: conceitos fundamentais e aplicações práticas* devem energizar os avanços das ciências, das engenharias e da tecnologia. Diante disso, o livro apresenta os conceitos teórico-práticos nos resultados obtidos pelos diversos autores e coautores no desenvolvimento de cada capítulo com conhecimento técnico-científico adequado. Daí a Atena Editora oferece uma divulgação científica com qualidade e excelência, essencial para garantir o destaque entre as melhores editoras do Brasil.

Fabrício Moraes de Almeida

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 1

TÉCNICAS DE PROCESSAMENTO DE SINAL E CLASSIFICADORES INTELIGENTES UTILIZADOS PARA A DETECÇÃO DE ILHAMENTO NA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA EM REDES DE DISTRIBUIÇÃO

Viviane Barrozo da Silva
Antonio Carlos Duarte Ricciotti
Paulo de Tarso Carvalho de Oliveira
Fabrício Moraes de Almeida

https://doi.org/10.22533/at.ed.6962322121

CAPÍTULO 2 35

CRITICAL ANALYSIS OF THEORIES ON THE ORIGINS OF GEOMAGNETISM

Márcio Antônio Sens

https://doi.org/10.22533/at.ed.6962322122

CAPÍTULO 3 49

MAPAS COGNITIVOS FUZZY PARA AVALIAÇÃO DO RENDIMENTO DE FONTES ENERGÉTICAS MUNDIAIS, COM FOCO NO BRASIL

Márcio Mendonça
Janaína Fracaro de Souza Gonçalves
Marcio Jacometti
Guilherme Cyrino Geromel
Kazuyochi Ota Junior
Ronie Ribeiro Camargo
Gabriel Henrique Oliveira Uliam
Luiz Francisco Sanches Buzzacchero
Edinei Aparecido Furquim dos Santos
João Maurício Hypólito
Andressa Haiduk
Marcos Antônio de Matos Laia
Angelo Feracin Neto
Fabio Rodrigo Milanez
Vicente de Lima Gongora
Michelle Eliza Casagrande Rocha

https://doi.org/10.22533/at.ed.6962322123

CAPÍTULO 4 63

PISO DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

Anderson Felipe Machado
Rebeca Silva Costa
Luís Henrique Chouay Dall'Agnese

https://doi.org/10.22533/at.ed.6962322124

CAPÍTULO 5 68

VALIDATION OF EXPERIMENTAL RESULTS IN THE DETERMINATION OF THERMAL CONDUCTIVITY

Márcio Antônio Sens

https://doi.org/10.22533/at.ed.6962322125

CAPÍTULO 6 79

CONSTRUINDO CONHECIMENTOS EM ELETRÔNICA NO ENSINO MÉDIO POR MEIO DE OFICINAS PRÁTICAS

Geronimo Barbosa Alexandre
Brenda Mayra da Silva Pereira
Francisco Camilo Felix Filho
Alberto Grangeiro de Albuquerque Neto
Vinícios dos Santos Mangueira
José Tavares de Luna Neto

https://doi.org/10.22533/at.ed.6962322126

SOBRE O ORGANIZADOR 93

ÍNDICE REMISSIVO 94

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1

TÉCNICAS DE PROCESSAMENTO DE SINAL E CLASSIFICADORES INTELIGENTES UTILIZADOS PARA A DETECÇÃO DE ILHAMENTO NA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA EM REDES DE DISTRIBUIÇÃO

Data de aceite: 01/12/2023

Viviane Barrozo da Silva
Dra. Professora do Departamento de Engenharia Elétrica - Fundação Universidade Federal de Rondônia - UNIR
Porto Velho – RO
http://lattes.cnpq.br/9428968456380501

Antonio Carlos Duarte Ricciotti
Dr. Professor do Departamento de Engenharia Elétrica - Fundação Universidade Federal de Rondônia - UNIR
Porto Velho – RO
http://lattes.cnpq.br/9613876404612535

Paulo de Tarso Carvalho de Oliveira
Me. Professor do Departamento de Engenharia Elétrica - Fundação Universidade Federal de Rondônia - UNIR
Porto Velho – RO
http://lattes.cnpq.br/2255311473963948

Fabrício Moraes de Almeida
Dr. Professor do Departamento de Engenharia Elétrica - Fundação Universidade Federal de Rondônia - UNIR
Porto Velho – RO
http://lattes.cnpq.br/5959143194142131

RESUMO: A alta penetração da geração distribuída (GD) na rede de distribuição oferece muitos benefícios em termos de alta qualidade de energia, eficiência e baixas emissões de carbono no sistema de energia. No entanto, a detecção de ilhamento eficiente e a desconexão imediata da GD são essenciais para evitar danos ao equipamento, interferência na proteção da rede e riscos à segurança das equipes de manutenção. As técnicas de detecção de ilhamento são classificadas principalmente em técnicas remotas, ativas, passivas e híbridas. Destas, as técnicas passivas são mais vantajosas devido à menor degradação da qualidade da energia, menor custo e uso mais difundido pelas concessionárias de energia. No entanto, as principais limitações dessas técnicas são que elas possuem grandes zonas de não detecção (ZND) e requerem configuração de limite. Várias técnicas de processamento de sinal e classificadores inteligentes têm sido usados para superar as limitações da técnica passiva. As técnicas de processamento de sinais, em particular, são adotadas devido à sua versatilidade, estabilidade, economia e facilidade de modificação. Este capítulo apresenta análise das técnicas de processamentos de sinais aplicadas para otimizar as técnicas comuns de detecção de ilhamento passivo, demonstrando a comparação de desempenho entre as

técnicas de detecção de ilhamento com base em processamento de sinal utilizando as técnicas existentes. Além disso, descreveremos as vantagens e limitações relativas das técnicas de processamento de sinal.
PALAVRAS-CHAVE: Ilhamento, Geração distribuída, Rede de distribuição, Processamento de Sinal, Classificadores Inteligentes.

SIGNAL PROCESSING TECHNIQUES AND INTELLIGENT CLASSIFIERS USED FOR ISLANDING DETECTION DISTRIBUTED NETWORK GENERATION

ABSTRACT: The high penetration of distributed generation (DG) in the distribution network offers many benefits in terms of high energy quality, efficiency and low carbon emissions in the energy system. However, efficient islanding detection and immediate GD disconnection are essential to prevent equipment damage, interference with network protection and safety risks for maintenance personnel. Islanding detection techniques are classified mainly into remote, active, passive and hybrid techniques. Of these, passive techniques are the most advantageous due to less degradation in energy quality, lower cost and greater use by energy utilities. However, the main limitations of these techniques are that they have large zones of non-detection (ZND) and require threshold configuration. Various signal processing techniques and intelligent classifiers have been used to overcome the limitations of the passive technique. Signal processing techniques, in particular, are adopted due to their versatility, stability, economy and ease of modification. This article presents a comprehensive review of the signal processing techniques used to improve common passive islanding detection techniques. A performance comparison between island processing techniques based on signal processing with existing techniques will also be addressed. We will also describe the relative advantages and limitations of signal processing techniques.
KEYWORDS: Islanding, Distributed generation, Distribution network, Signal Processing, Smart Classifiers.

1 I INTRODUÇÃO

A alta penetração da geração distribuída na rede de distribuição oferece muitos benefícios em termos de qualidade de energia, eficiência e baixas emissões de carbono no sistema de energia. No entanto, uma detecção de ilhamento eficiente e uma desconexão imediata da GD são essenciais para evitar danos aos equipamentos entre outros riscos.

A condição de ilhamento ocorre quando parte do sistema de distribuição, à qual a GD está conectada, encontra-se eletricamente isolada da rede da concessionária, mas pode apresentar-se energizada pela geração distribuída e esta é conhecida como operação ilhada.

A Figura 1.0 exibe a condição de ilhamento de uma rede de distribuição conectada a três geradores distribuídos.

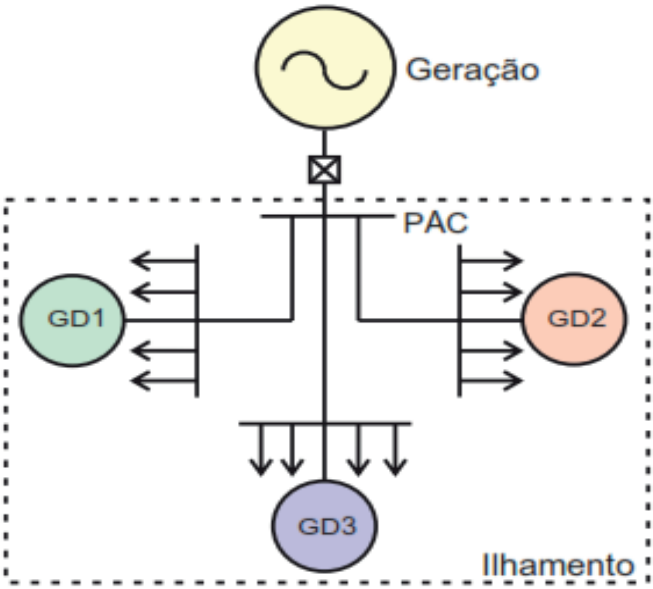


Figura 1.0 - Condição de ilhamento em uma rede de distribuição conectada a três GD.

Fonte: Autora

A operação ilhada de geradores distribuídos, se não detectada e eliminada em tempo hábil, apresenta riscos, tais como: degradação da qualidade de energia, risco de vida das equipes de manutenção das concessionárias, perdas de sincronismo durante a operação de religamento pelo religador automático, perda da coordenação das proteções de sobrecorrente, aterramento inadequado entre outros, conforme apresentados em (MARCHESAN,2016), (VELASCO et al., 2010), (YU; MATSUI; YU, 2010) e (GOMES et al., 2018), Devido a estas graves consequências, os padrões existentes, como IEEE 1547, IEC 62116, IEEE 929-2000 e AS 4777.3-2005, não permitem que a geração distribuída operem em modo ilhado (ZEINELDIN et al., 2007). De acordo com o padrão IEEE 1547, a condição de ilhamento deve ser detectada e desconectada em até 2 segundos da rede de distribuição, esse tempo pode não ser suficientemente pequeno para permitir a desconexão da GD, antes da tentativa de religamento após um disparo na curva rápida do religador.

O tempo morto para religamento adotado pelas concessionárias normalmente varia entre 20 e 60 ciclos da frequência fundamental. Nesse caso, é necessário aumentar o tempo morto de religamento e instalar dispositivos que bloqueiam o religador, para o caso de presença de tensão na linha de distribuição (MARCHESAN, 2016).

Este artigo apresenta os métodos de detecção de ilhamento e uma visão abrangente das técnicas de processamento de sinais. As técnicas de processamento de sinais quando aliadas as técnicas comuns de detecção de ilhamento passivo podem resultar em uma

boa metodologia de detecção de ilhamento. Uma comparação de desempenho entre as técnicas de detecção de ilhamento baseadas em processamento de sinais com as técnicas existentes também será abordada.

2 | CLASSIFICAÇÃO DOS MÉTODOS DE DETECÇÃO DE ILHAMENTO

As técnicas de detecção de ilhamento são classificadas em remotas e locais, sendo que os métodos locais são divididos em técnicas ativas, passivas, híbridas (que possuem características das técnicas ativas e passivas), e técnicas com base em processamento de sinais, conforme pode ser notado na Figura 2.0. Dessas, as técnicas passivas são mais vantajosas devido à menor degradação da qualidade da energia, menor custo e uso difundido pelas concessionárias de energia.

No entanto, as principais limitações dessas técnicas são que elas possuem grandes zonas de não detecção e requerem configuração de limites. Por outro lado, várias técnicas de processamento de sinal e inteligência artificial tem sido usadas para superar as limitações do método passivo. As técnicas de processamento de sinais, em particular, são adotadas devido à sua versatilidade, estabilidade, economia e facilidade de modificação.

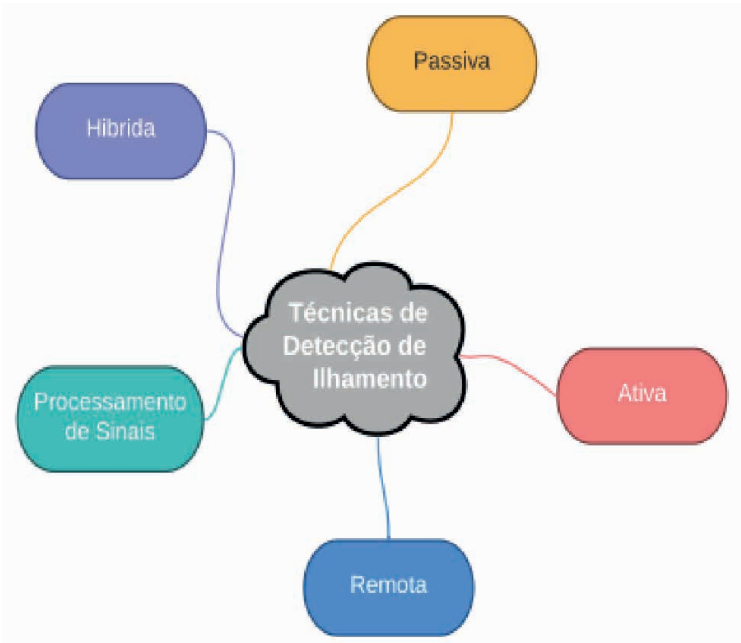


Figura 2.0 – Categorização das técnicas de detecção de ilhamento.

Fonte: Autora

2.1 MÉTODOS DE DETECÇÃO DE ILHAMENTO REMOTOS

As técnicas de detecção de ilhamento remoto funcionam com base no princípio da comunicação entre a concessionária e a GD. Essas técnicas apresentam alta confiabilidade, não possui ZND, o tempo de resposta é mais rápido, impacto zero na qualidade da energia e funcionam de forma eficaz em vários sistemas de GDs. No entanto, as técnicas remotas são muito caras para implementação e necessitam de um sistema de comunicação rápido e confiável. Os exemplos de técnicas remotas são discutidos em (MARCHESAN, 2016), (VELASCO et al., 2010), (YU; MATSUI; YU, 2010), (RAZA et al., 2015) e (MISHRA; CHANDAK; ROUT, 2019) e são apresentados a seguir: Técnicas baseadas em Sistema com *Supervisory Control and Data Acquisition* (SCADA): Utilizam um sistema supervisório para monitorar o estado de todas as chaves e disjuntores do Sistema Elétrico de Potência. O estado dos disjuntores indicará a porção do sistema que se encontra isolado, caso haja as GDs que continuem alimentando a porção ilhada, os esquemas de Teleproteção podem ser utilizados. É uma técnica confiável., entretanto pouco empregada em redes de distribuição devido ao elevado custo de implementação, que cresce com o aumento da complexidade do sistema.

2.1.1 Técnicas baseadas em Sistemas Power Line Carrier Communication (PLCC)

Utilizam a estrutura existente de linhas do sistema elétrico como canal de comunicação. Monitora os sinais que são continuamente transmitidos dos alimentadores de distribuição para os geradores distribuídos equipados com receptores. Se em algum ponto do sistema o sinal for interrompido, não sensibilizando os receptores instalados nos geradores distribuídos, o ilhamento será identificado. Nesse caso, não há as mesmas implicações, discutidas para os sistemas SCADA, quanto a mudanças na estrutura do sistema elétrico, pois dependem apenas do enlace de comunicação entre os geradores distribuídos e a concessionária. Embora seja uma técnica com elevada confiabilidade, caso haja a interrupção momentânea do sinal de tensão da rede, o sistema poderá desconectar os geradores distribuídos indevidamente.

2.1.2 Técnica baseada na Inserção de Impedância

Um pequeno valor de impedância (geralmente um banco de capacitores) é inserido no momento do ilhamento na GD. A inserção do capacitor regula a potência reativa, o que afeta indiretamente o equilíbrio de potência entre a geração e a carga. Além disso, a tensão e a frequência também são afetadas devido à potência reativa obtida do banco de capacitores. A distorção de frequência relacionada é detectada pelo relé de frequência localizado no lado da rede com o propósito de detectar o ilhamento. A Figura 3.0 descreve a técnica de inserção de impedância para detectar o ilhamento. Existem, algumas

desvantagens, como o custo do capacitor, baixo tempo de resposta e atraso na comutação do relé.

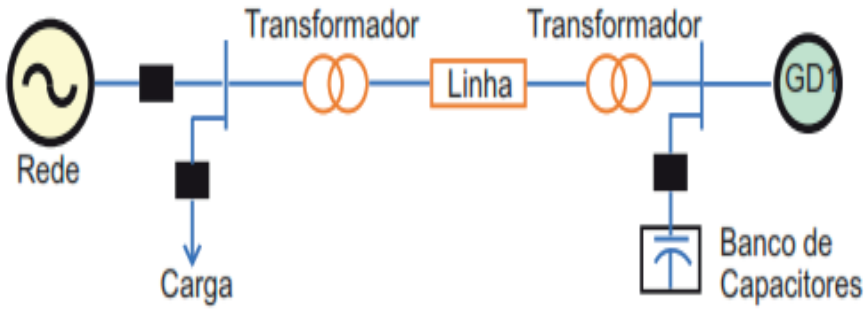


Figura 3.0 – Técnica baseada na Inserção de Impedância.

Fonte: Adaptado de (RAZA et al., 2015).

2.1.3 Técnicas baseadas em Unidades de Medidas Fasoriais (PMU)

Representado na Figura 4.0, onde o ilhamento é detectado comparando-se a diferença entre o ângulo sincro fasores do lado da rede e do lado da carga com o ângulo limite predefinido. Uma ZND muito pequena é obtido por esse tipo de técnica. A complexidade do projeto e o alto custo de implementação são as principais desvantagens da técnica baseada em PMU.

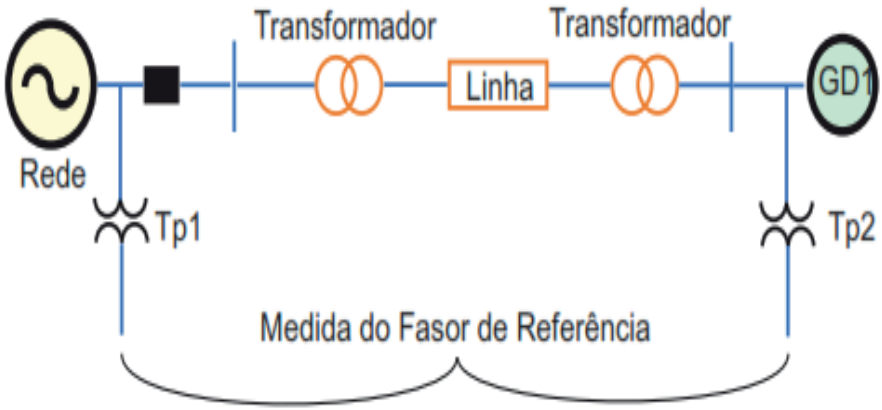


Figura 4.0 – Técnica baseada em Unidades de Medidas Fasoriais.

Fonte: Adaptado de (RAZA et al., 2015).

2.1.4 Transferência Direta de Disparo

Nesta técnica, uma unidade de controle central é usada para monitorar todo o disjuntor.

No momento do ilhamento, o algoritmo central regula a condição de operação dos geradores (permanecendo ligados ou desligados) de acordo com o sinal recebido do sistema SCADA integrado. A complexidade do projeto e o alto custo de implementação são os deméritos dos esquemas de Transferência Direta de Disparo. O princípio de operação do esquema de Transferência Direta de Disparo é ilustrado na Figura 5.0.

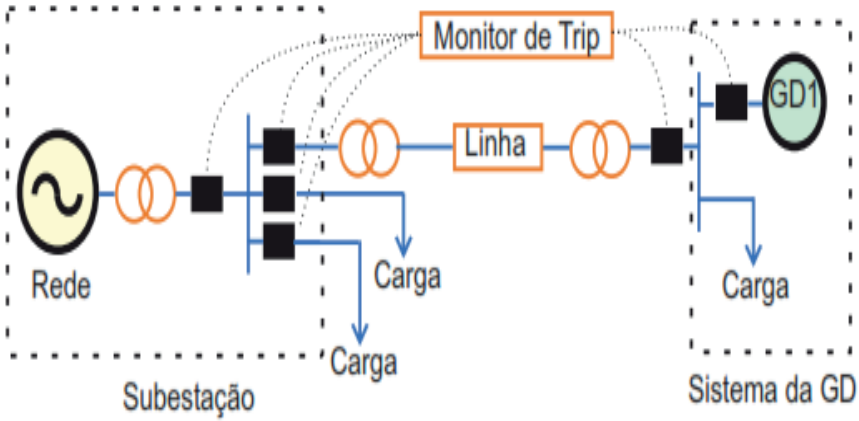


Figura 5.0 – Técnica baseada na Transferência Direta de Disparo.

Fonte: Adaptado de (RAZA et al., 2015).

2.2 MÉTODOS LOCAIS

A operação dos métodos locais utiliza as medidas de tensão, corrente, frequência, ângulo de fase, potência e distorção harmônica no local de instalação do gerador distribuído para identificar a condição de ilhamento. Esses métodos são divididos em técnicas ativas, passivas e híbridas. As técnicas ativas utilizam os sinais do Ponto de Acoplamento Comum (PAC) e inserem perturbações controladas para facilitar a detecção do ilhamento; as técnicas passivas utilizam apenas os sinais disponíveis no PAC e as técnicas híbridas que são uma combinação de ambas as técnicas locais, passivas e ativas, para a detecção do ilhamento.

2.2.1 Técnicas Locais Ativas

Os métodos ativos de detecção de ilhamento inserem no sistema de distribuição uma condição instável que é estabilizada pela conexão com o sistema principal, ou

provocam uma perturbação que é absorvida pelo sistema interligado. Quando ocorre o ilhamento, a conexão com o sistema interligado é perdida e os parâmetros das gerações distribuídas (tensão, frequência, impedância, entre outros) sofrem uma variação que é utilizada para a detecção de ilhamento. Em geral esses métodos não apresentam zona de não detecção. Por outro lado, geralmente causam a deterioração da qualidade da energia elétrica e estão associados a geradores que utilizam inversores para a conexão com a rede elétrica (MARCHESAN, 2016). Algumas das técnicas ativas mais comuns são Detecção do Erro da Potência Reativa Exportada (em inglês *Reactive Power Export Error Detection* RPEED) (CHOWDHURY; CHOWDHURY; CROSSLEY, 2009), Medição de Impedância (Ku Ahmad; SELVARAJ; RAHIM, 2013) e (O'Kane; Fox, 1997), *Slip Mode Frequency Shift Method* (SMS) (Lopes; Huili Sun, 2006) e (Liu et al., 2010), *Active Frequency Drift* (AFD) (De Mango et al., 2006), *Frequency Jump* (FJ) (LI et al., 2014), *Active Frequency Drift with Positive Feedback* (AFDPF) (Ropp; Begovic; Rohatgi, 1999), *Sandia Frequency Shift* (SFS) (Zeineldin; Kennedy, 2009), (Ku Ahmad; SELVARAJ; RAHIM, 2013), *Sandia Voltage Shift* (SVS) (VELASCO et al., 2010), Variação da Potência Ativa e Reativa (VELASCO et al., 2010), (LI et al., 2014) e (De Mango et al., 2006), Injeção de Corrente de Sequência Negativa (ICSN) (Karimi; Yazdani; Iravani, 2008) e (VELASCO et al., 2010), Injeção de Sinal de Alta Frequência (ISAF) (Reigosa et al., 2012) e (Reigosa et al., 2014), Capacitor Virtual (CHIANG; JOU; WU, 2012), Indutor Virtual (Jou; Chiang; Wu, 2007) e Método de Perturbação de Fase (em inglês *Phase Pertubation Method-PLL*) (VELASCO et al., 2010).

A maioria dessas técnicas são utilizadas para GDs do tipo inversor. Além disso, as características dessas técnicas estão resumidas na Tabela 1.0 (RAZA et al., 2015).

Técnicas	Tempo de Detecção	Taxa de Erro de Detecção	Impacto na Qualidade de Energia	ZND
RPEED	2 s	Baixo	Degrada	Pequeno
Medição de Impedância	0,77 – 0,95 s	Baixo	Degrada	Pequeno
SMS	0,4 s	Baixo	Degrada	Pequeno
AFD	Até 2 s	Alto	Degrada	Grande se o valor de Q for alto
FJ	75 ms	Baixo	Degrada	Pequeno
AFDPF	1 s	Menor que AFD	Degrada pouco	Menor que AFD
SFS	0,5 s	Baixo	Degrada pouco	Muito pequeno
SVS	0,5 s	Baixo	Degrada pouco	Muito pequeno
Variação da Potência Ativa e Reativa	0,3 – 0,75 s	Alto	Degrada	Muito pequeno
Injeção de Corrente de Sequência Negativa	60 ms	Baixo	Degrada	Nenhum
Injeção de Sinal de Alta Frequência	Pouco ms	Baixo	Degrada pouco	Muito pequeno
Capacitor Virtual	20 – 51 ms	Baixo	Degrada pouco	Muito pequeno
Indutor Virtual	13 – 59 ms	Baixo	Degrada pouco	Muito pequeno

Método de Perturbação de Fase	120 ms	Baixo	Insignificante	Muito pequeno

Tabela 1 . Características das diferentes técnicas ativas

Dessa forma, as técnicas ativas reduzem ZND e diminuem a taxa de detecção de erro. Por outro lado, ao injetar perturbações nos sistemas de potência surgem a necessidade de adicionar controladores/equipamentos eletrônicos de potência. Dessa forma, a complexidade do sistema é aumenta e a qualidade da energia é reduzida. Além disso, é necessário um tempo de detecção adicional para observar a resposta do sistema de potência mediante às perturbações. Consequentemente, a estabilidade do sistema é degradada.

2.2.2 Técnicas Locais Passivas

As técnicas de detecção de ilhamento passiva monitoram basicamente os parâmetros do sistema, como frequência, tensão e taxa de distorção harmônicas no ponto de acoplamento comum ou nos terminais de GD, e os comparam com um valor limite predeterminado para detecção de ilhamento. As técnicas de detecção de ilhamento passiva não causam nenhuma perturbação no sistema, não deteriora a qualidade de energia. São mais utilizadas por apresentar custo reduzido para sua implementação, principalmente os métodos baseados em frequência. Contudo, no caso da potência produzida pela GD seja semelhante a potência consumida pelas cargas, o ilhamento pode não ser detectado, apresentando grandes ZNDs (MARCHESAN, 2016) e (VELASCO et al., 2010). Algumas das técnicas passivas mais comuns foram discutidas em (MARCHESAN, 2016), (VELASCO et al., 2010), (Zamani; Golshan, 2018), (Bekhradian; Davarpanah; Sanaye-Pasand, 2019) e (LI et al., 2014).

2.2.2.1 Sub/Sobrefrequência

Durante a operação conectada da GD com o sistema interligado, a frequência é controlada pelo sistema, e as variações das cargas e gerações locais não propiciam alterações perceptíveis na frequência devido ao alto momento de inércia do sistema interligado. No caso de um ilhamento, a abertura da conexão com o sistema interligado produz uma variação de potência. Esta variação de potência não é compensada pelos geradores ilhados resultando em uma variação da frequência que é identificada pelo relé ANSI 81. Quando o fluxo de potência no ponto de desconexão com o sistema interligado é baixo, a variação de frequência é muito pequena e insuficiente para sensibilizar o relé de sub/sobrefrequência, surgindo assim uma ZND. O tamanho da ZND está diretamente associado com os limites ajustados no relé ANSI 81. Ajustes de limites mais próximos à frequência nominal tendem a diminuí-la, entretanto, outros eventos tais como curtos-

circuitos e chaveamento de grandes blocos de carga podem gerar disparos indesejáveis para ajustes muito sensíveis (MARCHESAN, 2016).

2.2.2.2 Sub/Sobretensão

A proteção Sub/Sobretensão (ANSI 27/59) fundamenta-se pela determinação do valor eficaz da tensão na barra ao qual estão conectados, e considerando uma janela de medida de alguns ciclos elétricos sobre a forma de onda dessa tensão. Antes de ser processado o sinal é filtrado para eliminar imprecisões na medida. A proteção Sub/Sobretensão são os mais empregados nos esquemas que utilizam medidas da tensão (VIEIRA JÚNIOR, 2006).

2.2.2.3 Deslocamento de Fase ou Salto Vetorial (Vector Shift)

Quando uma corrente flui entre a GD e o Sistema de Distribuição provoca uma queda de tensão sobre a impedância equivalente entre eles. A ocorrência de ilhamento gera uma brusca alteração na corrente, provocando uma variação na fase da tensão que é detectada pelo relé de Salto vetorial (ANSI 78). Esse relé possui desempenho semelhante aos relés baseados em frequência (MARCHESAN, 2016).

Os relés de Deslocamento de Fase medem a duração de um ciclo elétrico e iniciam uma nova medição toda vez que a forma de onda da tensão passar por zero. A duração medida desse ciclo é então comparada com a duração do ciclo anterior, que permanece armazenada no relé. Essa variação da duração do ciclo é proporcional ao deslocamento de fase , que é o sinal de entrada do relé. Caso esse sinal seja maior que um valor ajustado no relé, esse opera enviando outro sinal que comanda a abertura do disjuntor do gerador (VIEIRA JÚNIOR, 2006). Para os relés de Deslocamento de fase recomenda-se um ajuste de ±6°, entretanto no caso de geradores distribuídos em redes com baixas potências de curto-circuito no ponto de interligação, recomenda-se um ajuste de ±12° para minimizar casos de falsa operação do relé quando correm chaveamentos de grandes blocos de carga (VIEIRA JÚNIOR, 2006).

2.2.2.4 Taxa de variação da frequência (Rate of Change of Frequency, ROCOF)

Esta técnica é considerada como confiável para detectar a condição de ilhamento quando existe variação de frequência que é moderadamente lenta, o que acontece quando o desbalanço de potência ativa entre a geração e a carga é pequeno demais no sistema isolado. O desbalanço entre a potência ativa gerada e consumida durante o ilhamento faz com que a frequência varie com uma certa taxa por segundo. O relé que monitora a taxa de variação da frequência com o tempo é o ANSI 81R que calcula a derivada da frequência no tempo, e se esta exceder um limiar, o sistema é considerado ilhado (MARCHESAN, 2016) e (Velasco et al., 2011). A faixa de ajustes típica disponível nos relés comerciais é 0,1

Hz/s a 10 Hz/s e seus ajustes típicos, quando instalados em geradores distribuídos para a detecção de ilhamentos estão na faixa de 0,10 a 1,20 Hz/s. As ZNDs estão relacionadas com os limiares e podem ocorrer disparos falsos devido a curtos-circuitos (VIEIRA JÚNIOR, 2006).

2.2.2.5 Taxa de variação de frequência sobre variação de potência

No decorrer da operação normal do sistema interligado, as variações de potência não acarretam grandes variações de frequência, pois o momento de inércia de todo o sistema interligado é muito grande. Portanto, nessas condições, a variação da frequência em relação à variação da potência é pequena. Entretanto, durante a operação ilhada a constante de inércia é muito menor, assim, pequenas variações de potência causam grandes variações de frequência, resultando em valores maiores de (MARCHESAN, 2016) e (VELASCO et al., 2010).

2.2.2.6 Medição de Harmônicos

A distorção harmônica total da tensão é medida no PAC e compara com um valor limite definido para a desconexão do inversor. No modo de rede conectada, a tensão no PAC é considerada a tensão da rede e a THD medida correspondente é considerada relativamente insignificante. Porém, no modo de ilhamento, a corrente harmônica extra gerada pelo inversor é comunicada à carga. Além disso, a impedância de carga geralmente tem um valor mais alto do que a impedância da rede. A tensão harmônica é medida pela interação da corrente harmônica e a impedância da rede. A condição de ilhamento é detectada quando a distorção harmônica total da tensão excede um valor limite predefinido. Essa técnica pode falhar em caso de carga com alto fator de qualidade e fortes características de filtro passa-baixa (De Mango et al., 2006).

2.2.2.7 Mudança de Impedância

A impedância da seção ilhada é maior do que a impedância da rede elétrica. Quando uma parte da rede é desconectada da concessionária, a impedância daquela seção aumenta (O'Kane; Fox, 1997) e (Hopewell; Jenkins; Cross, 1996). Assim, o ilhamento pode ser detectado monitorando a mudança de impedância no lado GD.

2.2.2.8 Desequilíbrio de Tensão

No modo de operação ilhado, A GD compartilha as cargas locais na área ilhada à medida que a rede é desconectada. Se a diferença de energia entre as GDs e as cargas locais for grande, o ilhamento pode ser detectado facilmente monitorando a mudança nos parâmetros no final da GD ou no PAC. Por outro lado, se for pequeno, a chance de falhar na detecção é alta (MISHRA; CHANDAK; ROUT, 2019).

2.2.2.9 Assinaturas Harmônicas

O método proposto por Merino et al. (2015) analisa as alterações da magnitude da tensão do 5°harmônico no PAC antes e depois da ocorrência da condição de ilhamento. O método foi aplicado em uma microrrede em escala de laboratório. Os resultados obtidos demostram a redução das zonas de não detecção. Mesmo que o uso da tensão de 5° harmônico possa ser extrapolado para outras microrredes, um estudo preliminar análogo deve ser realizado para estabelecer os limites de trip, que dependerão das características específicas dos harmônicos de tais microrredes.

2.2.2.10 Desenvolvimento de Estimadores Dinâmicos

Os autores Al Hosani, Qu e Zeineldin (2015) propuseram um novo método no qual a ocorrência de ilhamento é estimada dinamicamente. A amplitude e o ângulo de fase do sinal de corrente no PAC e o sinal de tensão na extremidade das GDs são estimados pelos estimadores dinâmicos modelados. Um algoritmo de dois níveis é utilizado para estimar e detectar a ocorrência de ilhamento para os sistemas contendo GDs únicas e múltiplas. A análise transiente é realizada para corrigir a ZND. O resultado da simulação comprovou a eficiência para detecção de ilhamento em sistema de microrrede.

2.2.3 Técnicas Locais Híbridas

Este tipo técnica emprega dois princípios diferentes baseados em técnicas ativas e passivas ao mesmo tempo com o objetivo de suprimir a limitação de uma técnica incorporando as vantagens da outra. Os métodos híbridos utilizam uma técnica passiva para realizar uma primeira avaliação do estado do sistema de distribuição. Quando uma anormalidade é detectada, um método ativo é empregado para forçar o sistema a uma condição que caracterize um ilhamento (MARCHESAN, 2016). A Figura 6.0 mostra o princípio de funcionamento das técnicas híbridas.

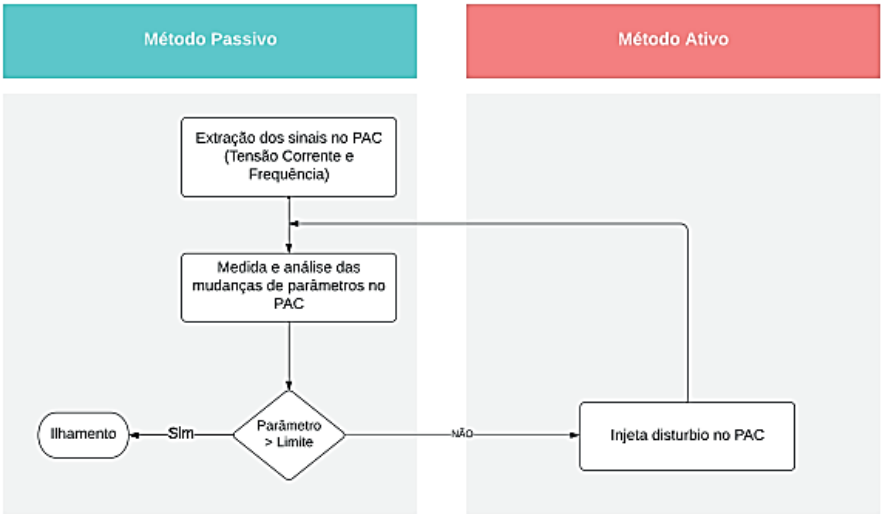


Figura 6.0 Princípio de funcionamento das técnicas híbridas.

Fonte: Adaptado de (Raza et al., 2015).

2.2.3.1 Realimentação positiva e Desequilíbrio de Tensão

A técnica de Realimentação Positiva é um método ativo (em inglês *Positive Feedback* (PF) e a técnica de Desequilíbrio de Tensão é um método passivo (em inglês *Voltage Imbalance* - VU). A ideia por traz desta técnica é monitorar a tensão nas três fases para determinar o desbalanço das tensões. Se ultrapassado o valor ajustado como limiar de VU, então o ajuste de frequência da GD será alterado pela realimentação positiva. Caso o ilhamento ocorra, a frequência do sistema irá variar com a perturbação inserida (Menon; Nehrir, 2007).

2.2.3.2 Tensão e deslocamento adaptativo de potência reativa - Adaptive Reactive Power Shift - (ARPS)

A taxa de variação da tensão em relação ao tempo é calculada para obter o valor de covariância necessário para essa abordagem. Esse valor é usado posteriormente para iniciar um algoritmo baseado em um método ativo secundário ARPS. Se ultrapassado o valor ajustado como limiar de covariância, então será inserida uma perturbação na corrente de eixo d (direto) da transformada de Park. Caso o ilhamento ocorra, a ação de deslocamento de fase é acelerada, levando a rápidos deslocamentos de frequência. (Yin; Chang; Diduch, 2006).

2.3 Técnicas de Processamento de Sinal para Detecção de Ilhamento

As técnicas de processamento de sinal (PS) são comumente usadas para melhorar o desempenho das técnicas de detecção de ilhamento passivo. As propriedades de versatilidade, estabilidade, economia e facilidade de modificação das técnicas de processamento de sinal ajudam os pesquisadores a extrair as características ocultas dos sinais medidos para detecção de ilhamento. Com base nessas características extraídas, pode-se decidir se o ilhamento ocorreu ou não. A Figura 7.0 apresenta as etapas básicas envolvidas na detecção de ilhamento utilizando as técnicas de processamento de sinal.

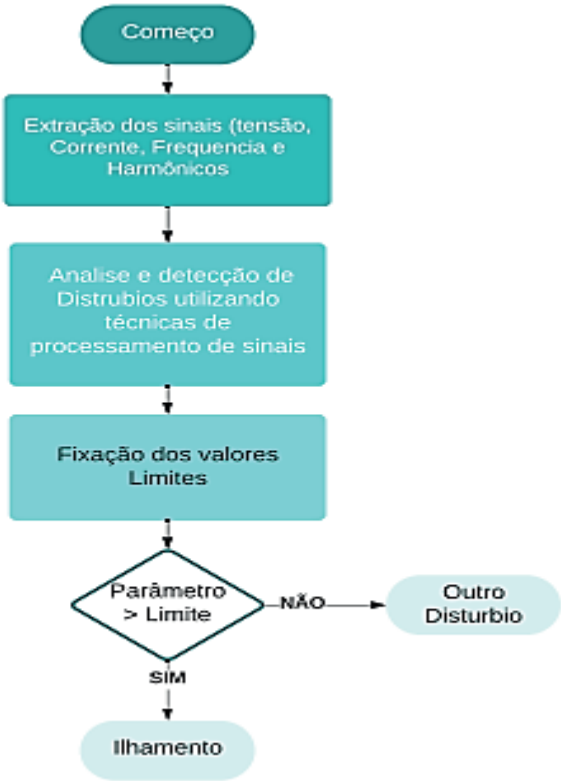


Figura 7.0 – Princípio de funcionamento das técnicas de processamento de sinais.

As ferramentas básicas de processamento de sinal, tais ferramentas são a transformada de Fourier, a transformada S, a transformada Hilbert-Huang, a transformada Wavelet e a transformada TT entre outras, que são empregues na detecção de ilhamento. A descrição dessas ferramentas de processamento de sinal usadas nas técnicas de detecção de ilhamento serão discutidas a seguir.

2.3.1 Técnicas de detecção de ilhamento baseadas na Transformada de Fourier

A transformada de Fourier é a técnica mais comum na análise no domínio da frequência. Basicamente, representa um sinal como um somatório de termos sinusoidais de diferentes frequências. Ele extrai as características do sinal estacionário em frequências específicas, mas é incapaz de detectar a distribuição de tempo de diferentes frequências. Também não é capaz de resolver qualquer informação momentânea associada a flutuações (Karimi; Mokhtari; Iravani, 2000). Portanto, a análise tempo-frequência é proposta. A transformada janelada de Fourier (em inglês *Short-Time Fourier Transform* - STFT) é a modificação da transformada de Fourier. Ela divide o sinal em pequenos quadros, onde cada quadro pode ser considerado estacionário. Esses numerosos quadros do sinal são avaliados pela janela fixa e móvel. Esta janela móvel identifica a relação entre o tempo e a mudança na frequência (Dash et al., 2003). Porém, o STFT não pode analisar o sinal não estacionário devido à limitação da largura da janela fixa (Gu; Bollen, 2000). A transformada discreta de Fourier (em inglês *Discrete Fourier Transform* - DFT) é uma técnica muito dominante para a análise no domínio da frequência de sinais de tempo discretos. Ele transforma a sequência de tempo discreta de comprimento finito em sequência de frequência discreta de comprimento finito. A transformada rápida de Fourier (em inglês *Fast Fourier Transform* - FFT) também fornece resultados semelhantes aos da DFT, embora em menor quantidade de tempo. No entanto, não é adequado para a análise de sinais não estacionários, devido ao fato de retratar aqueles valores espectrais que não existem no sinal original.

Kim (2012) apresenta uma técnica passiva para detecção de ilhamento baseada em DFT para a extração dos recursos desejados. O algoritmo de detecção de ilhamento passivo para inversores é baseado nos componentes harmônicos da rede. Ele utiliza o fato de que os componentes harmônicos equivalentes no PAC são alterados de acordo com o *status* da conexão à rede. Esse método mostra uma ZND reduzida e tempo de detecção rápido em comparação com a abordagem convencional. A modelagem matemática é realizada e verificada por resultado experimental usando um processador digital de sinais (em inglês *Digital Signal Processors* - DSP) de alto desempenho. A fim de superar o problema de computação lenta e reduzir o tempo da DFT, o algoritmo de Goertzel é usado. É basicamente um tipo de transformada de Fourier discreta, cuja técnica é mais rápida de detecção de pitch em comparação com FFT e DFT. Ele funciona da perspectiva da operação de filtragem em uma frequência especificada, ou da perspectiva da DFT obtida em um curto período de tempo do sinal. Calculando diretamente a amplitude e a fase da frequência desejada do sinal de entrada, o que acaba reduzindo o tempo computacional (Gonzalez; Garcia-Retegui; Benedetti, 2007) , (Jacobsen; Lyons, 2003) e (Sozanski, 2006).

(Kim et al., 2011) Utilizam o algoritmo de Goertzel para reduzir o tempo de detecção de ilhamento em sistema fotovoltaico. No sistema proposto, o inversor injeta a corrente

de saída com um nono componente harmônico na rede e detecta a mesma em tensão no ponto de acoplamento comum. A ZND não existe nesse método, mesmo sob combinação perfeita de potência e carga. O impacto na qualidade da energia também é insignificante e o ilhamento é detectado em 2 ciclos.

2.3.2 Técnicas de detecção de ilhamento baseadas na transformada Wavelet

A transformada Wavelet (WT) também é usada para a análise do sinal. É um modelo matemático baseado na integral quadrada e na teoria dos grupos, semelhante ao FT. Ele decompõe um sinal em suas componentes em diferentes escalas de frequência (Habibi, 1995) e (Chen, 2005). A WT representa um sinal nos domínios do tempo e da frequência. Portanto, é adequado para examinar os sinais nas aplicações onde a resolução tempo-frequência é considerada necessária. Tem sido amplamente utilizado em aplicações de sistemas de potência, como detecção de distúrbios na qualidade de energia elétrica, extração de recursos, proteção de sistemas de potência e eliminação de ruído (Daubechies, 1990), (Santoso et al., 1996) e (Santoso; Powers; Grady, 1997).

A transformada Wavelet é mais vantajosa em comparação com as transformadas baseadas em Fourier (STFT, FFT e DFT). Isso se deve ao fato de que o tamanho da janela é fixo na transformada baseada em Fourier, mas varia na transformada Wavelet. Consequentemente, as resoluções de tempo-frequência não são comprometidas. Além disso, a transformada Wavelet determina as informações de tempo e frequência simultaneamente para baixas e altas frequências por janelas longas e curtas, respectivamente (MORSI; EL-HAWARY, 2010). A transformada Wavelet é categorizada em contínua (CWT) e transformada wavelet discreta (DWT). A CWT é usada na detecção de ilhamento através da análise da tensão GD. A decomposição de Mallat também é usada para extrair e eliminar o ruído do sinal (Yanping Zhu et al., 2008). Esse método reduz a eficiência computacional, introduzindo os numerosos coeficientes. Esse problema desvia a atenção dos pesquisadores para o DWT.

Pigazo et al. (2007) e Pigazo et al. (2009), utilizam a DWT para analisar o sinal de tensão de um sistema fotovoltaico monofásico. O método proposto usa Bi ortogonal 1,5 e 5 níveis de decomposição para detecção de ilhamento. A redução do número de sensores, minimização da carga computacional e complexidade são algumas das vantagens associadas a esta técnica. O DWT baseado na Wavelet mãe de Daubechies é usado em (HSIEH; LIN; HUANG, 2008). Examinando as variações de tensão e frequência. As características desse método são a simplicidade na programação, o aprimoramento da capacidade de detecção de ilhamento e a observação simultânea de perfis de qualidade de energia. O esquema proposto é testado e verificado em diversos cenários com flexibilidade, viabilidade e robustez.

Samantaray, Pujhari e Subudhi (2009) Utilizam a sequência negativa de sinais de

corrente e tensão são considerados pela DWT baseado em Daubechies db4. O desvio padrão e a mudança nos coeficientes de energia discriminam entre ilhamento e outras condições de perturbação. No método proposto, o ilhamento é detectado em 1 ciclo usando o primeiro nível de energia e desvios padrão. O método proposto utiliza as propriedades de compactação e localização do Daubechies db4 na diminuição da ZND. O método proposto é comparado com uma técnica passiva (sobretensão / subtensão e frequência) e é considerado muito eficiente e eficaz em todas as condições de trabalho (Hanif et al., 2010).

Karegar e Sobhani (2012) utilizaram a DWT para detecção de ilhamento em usinas eólicas. Os perfis de tensão são examinados pelo db5. O método proposto provou ser confiável sob diferentes condições de carga.

Hanif, Basu e Gaughan (2012) propuseram uma técnica baseada em DWT baseada na wavelet mãe db4 para ser utilizada nas GDs fotovoltaicas (em inglês *Photovoltaic* PV) conectados à rede. As mudanças espectrais nos componentes de alta frequência da tensão são analisadas para detecção de ilhamento. O esquema proposto é considerado muito eficaz e detectou condições de ilhamento em 0,05 s.

Sharma; Singh, (2012) utilizam a propriedade de localização e compactação da transformada wavelet diádica para detecção de ilhamento. Verificou-se que o esquema proposto discrimina os cenários de ilhamento e não ilhamento para sistemas fotovoltaicos conectados à rede em mais de 1 ciclo.

LIU et al. (2005) apresentam o esquema de detecção de ilhamento baseado em WT para a operação autônoma da GD. As principais desvantagens associadas ao DWT são a integração das altas frequências e a medição de várias grandezas elétricas. Portanto, a Transformada de Pacote Wavelet (em inglês *Wavelet Packet Transform* - WPT) é proposta em (MORSI; EL-HAWARY, 2010). Esse esquema propõe um novo índice denominado taxa de variação do nó do índice de potência. Esse índice calcula a mudança da potência em cada sub banda da WPT. A base do WPT é db10, pois possui menos coeficientes Wavelet.

Shariatinasab e Akbari (2010) utilizaram a Wavelet mãe (Haar) para detecção de ilhamento. Esse tipo de Wavelet mãe requer os menores níveis de decomposição, portanto, possui o menor tempo de detecção. Esse método calcula o sinal de corrente no PAC e detecta o ilhamento dentro de 5,5 ms. O método proposto também é aplicável para ambientes com multi GDs.

Ning e Wang (2012) propuseram uma nova técnica de extração de características para detecção de ilhamento. Esse trabalho examinou as variações nos perfis de harmônicos para sistemas GD baseados em inversores, e é basicamente uma extensão de (Pigazo et al., 2009). A técnica de análise multi-resolução baseada na transformada Wavelet é empregada para extração de características, decompondo a tensão de saída em várias escalas. Cada escala produz uma sequência de coeficientes Wavelet com base na largura de banda de frequência. A mudança na proporção dos coeficientes Wavelet é usada para

detecção de ilhamento. Os resultados da simulação provam que o esquema proposto é bem-sucedido na detecção de ilhamento em todas as condições operacionais.

(Samui; Samantaray, 2012) e (Samui; Samantaray, 2013) propuseram uma nova técnica para detecção de ilhamento baseada na entropia singular Wavelet (em inglês *Wavelet Singular Entropy* - WSE). A WSE integra as vantagens da transformada Wavelet, decomposição de valor singular e entropia de Shannon. No esquema proposto, a Transformada Wavelet analisa o sinal de tensão trifásico e produz os coeficientes detalhados. A matriz de valor singular é calculada a partir desses coeficientes detalhados para determinar o WSE para cada fase. Finalmente, o índice WSE é produzido pela adição de todas as fases do WSE. O esquema proposto é comparado com os dois esquemas existentes ROCOF e taxa de mudança de potência (ROCOP) o esquema proposto detecta a condição de ilhamento efetivamente dentro de 10 ms.

2.3.3 Técnicas de detecção de ilhamento baseadas em transformada S

A transformada Wavelet extrai os recursos desejados do sinal dos domínios do tempo e da frequência. No entanto, o processamento em lote e a sensibilidade ao ruído são as desvantagens associadas a essa técnica. Para superar esses problemas, Stockwell, Mansinha e Lowe (1996) propõem a transformada S, Nesta técnica, as propriedades da STFT e WT são combinadas. É uma técnica de tempo-frequência com uma janela variável de STFT e uma expansão de WT. É baseado em uma janela gaussiana de localização escalável e fornece a resolução dependente da frequência (Ventosa et al., 2008), (Stockwell; Mansinha; Lowe, 1996) e (Dash et al., 2003). Fornecendo uma multi-resolução e mantendo a fase de cada componente de frequência inalterada. Transformando o sinal do domínio do tempo em domínios de frequência bidimensionais. As características espectrais locais são examinadas pelo espectro de frequência de amplitude e tempo ou pelo espectro de frequência de tempo de fase. Nessa ferramenta, a senoide é fixada em relação ao eixo do tempo e a janela gaussiana escalável localizada examina a forma mais abrangente dilatando a frequência de fase (DEHGHANI, 2009) e (Mishra; Bhende; Panigrahi, 2008). A transformada S (ST) fornece resultados consideráveis na detecção e localização de perturbações devido ao ilhamento ou qualquer outra condição.

Ray et al. (2010), Apresentam uma técnica de detecção de ilhamento usando transformada S para um sistema híbrido. Nesse, foi Demonstrado que a transformada S em comparação com a transformada Wavelet para detecção de ilhamento pode ser melhor aproveitada.

Ray, Kishor e Mohanty (2010) extraíram a tensão de sequência negativa para detecção de ilhamento. Os autores, também compararam a WT e a ST em condições com ruído. Com base nos resultados da simulação, descobriu-se que a transformada S se mostrou mais eficiente para detecção de ilhamento em relação a WT. Uma nova técnica

que se baseia no detector de soma cumulativa baseado na transformada S (CUSUM) é proposta em (Samantaray; Samui; Chitti Babu, 2010). Nesta técnica, os conteúdos de energia espectral dos sinais de tensão e corrente de sequência negativa são usados para cálculo. Foi verificado que a técnica proposta detecta a condição de ilhamento em 25 ms com uma precisão de mais de 92%.

O problema associado à ST é que seu desempenho enfraquece em certas situações operacionais, como transientes. A ST é modificada para a transformada S hiperbólica (em inglês *Hyperbolic S Transform* - HST) para superar o efeito adverso dos transientes e realizar uma técnica de processamento de sinal superior (BISWAL; DASH; PANIGRAHI, 2009) e (Huang; Xu; Liu, 2010). Em comparação com a ST, a HST tem uma janela hiperbólica pseudo Gaussiana. Possui dependência de frequência em sua forma em integração com sua largura e altura. Essa janela assimétrica fornece melhor resolução tanto no tempo quanto na frequência, tanto em frequências altas como nas baixas.

Mohanty et al. (2012), utilizaram a HST para detectar a condição de ilhamento. A mudança na energia e no desvio padrão do sinal de tensão no PAC é resolutivo, e com base nesses valores um limite adequado é usado para detectar o ilhamento. Os resultados revelam as vantagens do esquema proposto para detecção de ilhamento em ambientes com ruído e sem ruído.

2.3.4 Técnicas de Detecção de Ilhamento Baseadas em Transformada Tempo-Tempo

Muitas técnicas de frequência variável no tempo são usadas para processar sinais não estacionários. Algumas das técnicas mais comuns são STFT, WT e ST. No entanto, essas transformadas introduzem redundância, passando de um sinal de tempo 1-D (unidimensional) para um sinal de frequência de tempo (ou escala de tempo) 2-D. Em 2003, uma técnica incipiente baseada na transformada S é proposta, chamada de transformada tempo-tempo (em inglês *time-time transform* - tt). Inclui redundância no tempo passando de um sinal de tempo 1-D para um sinal de tempo-tempo 2-D (PINNEGAR; MANSINHA, 2003) e (Simon; Schimmel; Danobeitia, 2008).

Khamis, Shareef e Wanik (2012) propuseram uma nova ferramenta de processamento de sinal, isto é, transformada TT para detecção de ilhamento. Os resultados do esquema proposto foi capaz de detectar o cenário de ilhamento de forma precisa e ágil, pois cada evento possui padrões distintos e únicos.

Mohanty et al. (2012) utilizaram a transformada TT para extrair os recursos para a detecção de ilhamento. Os resultados obtidos são comparados com Wavelet e transformada S. Verifica-se que a técnica proposta é superior para detecção de ilhamento em todas as condições.

2.3.5 Técnicas de Detecção de Ilhamento Baseadas na Transformada de Hilbert-Huang

A transformada de Hilbert-Huang (em inglês *Hilbert-Huang Transform* - HHT) é uma nova técnica de processamento de sinais que permite a separação de componentes dos mesmos baseados em interpolação cúbica e extração de valores médios. O método, denominado Modo de Decomposição Empírico (em inglês *Empirical Mode Decomposition* EMD) faz a separação dos sinais utilizando uma metodologia denominada "peneiramento" e cada componente retirada do sinal é denominada Função de Modo Intrínseco (em inglês *Intrinsic Mode Function* - IMF). O método básico de extração de cada IMF é realizado detectando-se os valores dos picos superiores e inferiores do sinal, seguido da aplicação de método de interpolação cúbica, que gera uma envoltória superior para os valores de pico superiores e uma envoltória inferior relacionada aos valores de pico inferiores. No passo seguinte uma função correspondente ao valor médio pontual entre as duas envoltórias é obtido, o sinal resultante dessa média passa por um critério de parada simplificado onde o número de picos pode diferir no máximo de um em relação ao número de cruzamentos por zero, quando isto ocorre obtém-se uma função de modo intrínseco. No caso, o critério de parada não ser obtido, extrai-se do sinal atual em análise, a função correspondente ao valor médio pontual. O sinal correspondente a essa diferença é então submetido novamente a entrada do algoritmo na busca de uma das IMFs que compõem o sinal. Nesse aspecto o método é perfeitamente adaptativo (ABRAMOWITZ; STEGUN, 1964) e (Drummond; Sutanto, 2010). O domínio dessa técnica de processamento de sinais sobre as outras técnicas, como: WT, STFT e a ST, foi apresentado na literatura (PENG; TSE; CHU, 2005), (DONNELLY, 2006) e (Ayenu-Prah; Attoh-Okine, 2009).

(Mohammadzadeh Niaki; AFSHARNIA, 2014) apresentaram um esquema de detecção de ilhamento passivo incipiente para GDs baseados em inversores que utiliza HHT para extração de características. Os resultados da simulação mostraram que o esquema proposto pode detectar eficazmente o ilhamento em menos de dois ciclos. Além disso, a simplicidade, eficácia, rapidez e robustez da técnica contra ruído são verificadas em sistemas multi-GD.

2.3.6 Técnicas de Detecção de Ilhamento Baseadas em Processamento de Sinal com Classificador Inteligente

As técnicas de detecção de ilhamento baseadas exclusivamente nas ferramentas de processamento de sinal foram discutidas. Em técnicas de detecção de ilhamento baseadas em processamento de sinal, os recursos desejados são extraídos do sinal de entrada e comparados a um valor limite. A seleção do valor limite é uma tarefa bastante difícil. Se seu valor for definido como alto, o ilhamento não será detectado, enquanto se for definido como muito baixo, ele desarma a GD mesmo no caso de distúrbios. Para superar esse

problema, classificadores inteligentes foram combinados com técnicas de detecção de ilhamento baseadas em processamento de sinal. Classificadores inteligentes comumente usados em técnicas de detecção de ilhamento baseadas em processamento de sinal são árvore de decisão (em inglês *Decision Tree* - DT), rede neural artificial (em inglês Artificial Neural Network - ANN), rede neural probabilística (em inglês Probabilist Neural Network - PNN), sistema de inferência neuro difuso adaptativo (em inglês *Adaptative Neuro Fuzzy Inference System* - ANFIS), floresta aleatória (em inglês *Random Florest* RF), máquina de vetor de suporte (em inglês *Support Vector Machine* - SVM) e controle de lógica *Fuzzy*. Esses classificadores inteligentes aumentam a eficiência, velocidade, precisão e podem detectar a condição de ilhamento sem usar nenhuma configuração de limite, como no caso de técnicas passivas baseadas em processamento de sinal comuns. O princípio de funcionamento básico é mostrado na Figura 8.0.

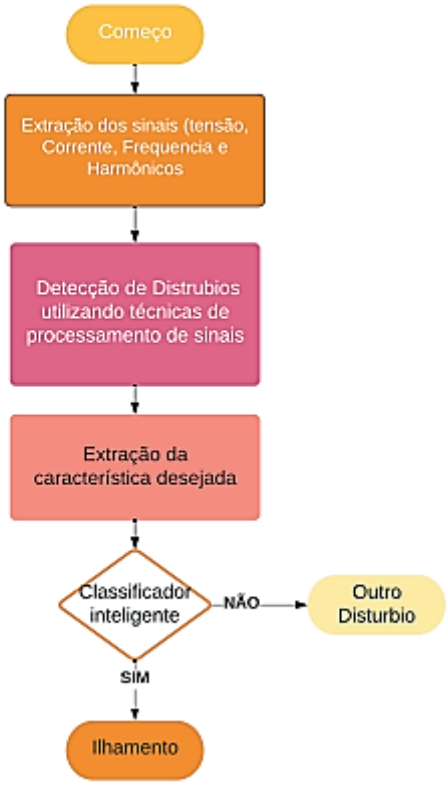


Figura 7.0 – Diagrama de blocos básico da técnica baseada em PS com classificador inteligente.

Guiliang Yin (2005) apresentou uma nova técnica para detecção de ilhamento baseada em FFT para extração de características e sistema imune artificial (em inglês *Artificial Immune System* - AIS) como classificador inteligente, respectivamente. Com base

nos resultados da simulação, verificou-se que o esquema proposto é muito eficiente e requer um processador digital de sinais muito avançado para sua implementação.

Os pesquisadores Kar e Samantaray (2013) e Abd-Elkader, Allam e Tageldin (2014) utilizaram um classificador inteligente, juntamente com o DFT para verificar a eficiência e confiabilidade do sistema. (KAR; SAMANTARAY, 2013), deriva 27 recursos por meio do pré-processador DFT para treinar o modelo de mineração de dados. O modelo de mineração de dados consiste em árvore de decisão (DT), floresta aleatória (RF) e máquina de vetor de suporte (SVM). O esquema proposto é testado levando em consideração o inversor e uma micro rede síncrono. esse artigo comparou a precisão desses classificadores inteligentes. A precisão do SVM e RF é muito próxima ao DT, mas a implementação do DT no DSP/FPGA é bastante fácil em comparação ao SVM e RF. O esquema proposto detecta a condição de ilhamento em menos de 1,5 ciclos. Esse modelo DT também é comparado com (Far; Rodolakis; Joos, 2012), que levou em consideração 11 recursos para detecção de ilhamento. Conclui-se que o esquema proposto é mais abrangente na realização de avaliações e impacta seriamente os limites de decisão. O esquema proposto também fornece uma solução mais generalizada para GD síncrona e baseada em inversor em comparação com os modelos anti-ilhamento inteligentes existentes baseados apenas em GD síncrona (Samantaray et al., 2010).

Abd-Elkader, Allam e Tageldin (2014) processaram os sinais de tensão e corrente com DFT para extrair os componentes do 2° harmônico. Esses componentes são alimentados por redes neurais artificiais (RNA) para tomada de decisão. Esse esquema passivo proposto para geração eólica com DFIG detecta a condição de ilhamento em 2 ciclos e não tem ZND se os valores de carga estiverem dentro dos limites estabelecidos.

Arachchige e Rajapakse (2011) propuseram uma nova abordagem de reconhecimento de padrões para detecção rápida de ilhamento. Uma DWT é usada para extrair os recursos desejados dos sinais transientes de tensão e corrente e para treinar o classificador da árvore de decisão (DT) para detecção de ilhamento. O esquema proposto é testado em um sistema de distribuição de média tensão com vários GDs e detecta ilhamento em 24 ms. O mesmo esquema foi testado em (Lidula; Rajapakse, 2010), para GDs síncronos e de indução. Nesse caso, ele detecta a condição de ilhamento em dois ciclos, com mais de 98% de precisão. O método proposto é novamente verificado para GD baseado em conversor de fonte de tensão (em inglês *Voltage Source Converter* - VSC) e gerador de indução. Nesse cenário, o ilhamento é detectado em 3 ciclos. Além disso, também é robusto, apesar do fato de que os perfis de tensão e corrente estarem com muitos sinais de ruído.

Uma nova técnica foi proposta por (SHAYEGHI; SOBHANI, 2014) com base no classificador ANFIS e DWT baseado em wavelet mãe 'Haar'. A técnica proposta reduz completamente a ZND dentro dos limites estabelecidos.

Heidari, Seifossadat e Razaz (2013) utilizaram a DWT e a DT para examinar o sinal transiente de tensão para detecção de ilhamento. Verifica-se que o esquema proposto

detecta a condição de ilhamento dentro de um ciclo. Simplicidade, velocidade, baixo custo e alta precisão são os méritos associados a essa técnica.

DWT e Rede Neural Artificial (RNA) foram utilizadas por Fayyad e Osman (2010) para a detecção de ilhamento. O método proposto detecta a condição de ilhamento com alta precisão. Além disso, também é comprovado que a técnica proposta é superior às técnicas passivas comumente utilizadas, por exemplo: sub/sobretensão e sub/sobrefrequência.

Embora a ST tenha o potencial de avaliar as perturbações dos sinais de potência, ela requer mais tempo computacional para processar o sinal. Existem alguns métodos que reduzem o tempo computacional para o cálculo da ST discreto, como a transformada generalizada da família de Fourier (em inglês *Generalized Fourier Family Transform* - GFT) (Brown; Lauzon; Frayne, 2010). A formulação discreta e não redundante dessa transformada, bem como os algoritmos para calcular as transformadas direta e inversa, também são desenvolvidos. Esses utilizam amostragem eficiente do plano de tempo-frequência e têm a mesma complexidade computacional da FFT. Quando configurado apropriadamente, esse novo algoritmo mostra o espectro contínuo da transformada S de forma eficiente e não redundante, permitindo que os sinais sejam transformados em milissegundos em vez de dias, em comparação com o algoritmo original da transformada S.

Dash, Padhee e Panigrahi (2012) propuseram um método de detecção de ilhamento incipiente baseado no sistema da transformada S rápida discreta (em inglês *Discrete Fast S Transform* - DFST) e *Fuzzy*. Tanto a tensão de sequência negativa quanto as correntes são quantificadas no local GD, que são utilizadas como entradas para o módulo de processamento da DFST, resultando em recursos como energia espectral e desvio padrão. Para detectar ilhas de energia, as características da DFST exibem as flutuações que são fornecidas como entradas para o classificador *Fuzzy* para o diferenciar um evento de ilhamento e não-ilhamento. Ao utilizar o esquema proposto em diferentes redes de distribuição, Verifica-se que o tempo de detecção é menor que um ciclo.

Um estudo comparativo sobre algumas das técnicas de processamento de sinal para detecção de ilhamento foi apresentado em (Mohanty et al., 2015). O esquema proposto extrai os componentes de sequência negativa do sinal de tensão usando métodos HST, TT e morfologia matemática. A decisão entre as condições de ilhamento e não-ilhamento é feita pela SVM. É apresentado que os métodos de HST, TT e morfologia matemática são mais precisos em comparação com ST e WT comumente usados. Além disso, a técnica proposta também funciona de forma eficaz em ambientes com ruído e sem ruído.

Khamis e Shareef (2013) utilizaram classificadores de função de base radial (em inglês *Radial Basis Function* - RBF) e PNN para tomada de decisão em combinação com a técnica de espaço de fase. Com base nos resultados, verifica - se que o PNN pode ser uma boa opção e funciona com mais eficiência que o RBF.

Khamis et al. (2015) avaliaram o desempenho entre a rede neural de função de base radial (em inglês *Radial Basis Function Neural Network* - RBFNN) e a PNN usando

a técnica de espaço de fase como um extrator de sinal. Os resultados comprovaram que o classificador PNN se mostraram superiores ao RBFNN com precisão de 100 %.

(ZEINELDIN et al., 2007) apresentaram um novo método de detecção de ilhamento com base no monitoramento da frequência do gerador. A frequência de oscilação e o fator de amortecimento da forma de onda de saída de frequência do gerador são extraídos usando a estimativa de mínimos quadrados totais de parâmetros de sinal via algoritmo de técnicas de invariância rotacional. O método proposto foi testado em vários cenários, como mudança de carga, curto-circuito e chaveamento de capacitor. A vantagem do método foi apresentar uma ZND reduzida.

A Tabela 2 resume as técnicas de detecção de ilhamento baseadas em processamento de sinal com classificadores inteligentes.

PS	Referência	CI	Tipo de DG	Tempo de detecção	Méritos e Demétrios
FFT	Guiliang	AIS	Baseado em inversor	Os autores não apresentaram	Muito eficiente, mas a implementação requer DSP avançado devido à alta complexidade computacional
DFT	Kar	Modelo de mineração de dados (DT, RF, SVM)	Síncronos e baseados em inversores	Menos de 1,5 ciclos	Muito rápido
DFT	Abd-Elkader	ANN	Parque Eólico DFIG	Dentro de 2 ciclos	ZND ocorrerá se o valor da carga estiver longe dos limites prescritos
DWT	Shayeghi	ANFIS	Conversor de fonte de tensão baseado em GDs	1 s aprox.	Supera o problema de definir o limite
DWT	Arachchige	Árvore de decisão	Múltiplos GDs	24 ms	Muito rápido
DWT	Lidula	Árvore de decisão	Geradores de indução e síncronos	Abaixo de 2 ciclos	A precisão é mais de 98%
DWT	Lidula	Árvore de decisão	Fonte DC baseada em VSC e gerador de indução	Abaixo de 3 ciclos	Alta confiabilidade, maior segurança, tempo de resposta mais rápido, menos sensibilidade ao desequilíbrio de carga e robusto contra ruído
DWT	Heidari	Árvore de decisão	Geradores de indução e síncronos	Inferior a 1 ciclo	Simplicidade, velocidade, menor custo e maior precisão (98%)
DWT	Fayyad	ANN	Painel fotovoltaico conectado ao inversor trifásico	Os autores não apresentaram	Alta precisão, mostra excelente desempenho para cargas Q altas.
DFST	Dash	Classificador baseado em regras difusas	Gerador síncrono, turbinas eólicas DFIG, sistema fotovoltaico e CHP	Menos de um ciclo	Alta precisão, confiabilidade, taxa de detecção e sensibilidade

Técnica de espaço de fase	Khamis	PNN	1200Vdc GDs	0,2 s	100% de precisão

Tabela 2 Técnicas de Processamento de Sinais (PS) com Classificadores Inteligentes (CI)

3 I CONCLUSÃO

Este capítulo do livro apresenta uma revisão abrangente sobre as técnicas de processamentos de sinais utilizadas nas detecções de ilhamentos. Em primeiro lugar, foi fornecido uma visão geral das técnicas convencionais, delineando suas vantagens e fragilidades. Isso é seguido por uma descrição de técnicas de processamento de sinal bem conhecidas que foram incorporadas aos métodos convencionais para melhorar seu desempenho e superar suas limitações inerentes. A aplicação de classificadores inteligentes, junto com técnicas de processamento de sinal para atingir uma precisão ainda maior, detecção mais rápida e melhor compatibilidade também foram discutidos.

Vale ressaltar que a aplicação de ferramentas de processamento de sinais e classificadores inteligentes não acarreta efeitos colaterais negativos na qualidade da energia e na confiabilidade do sistema. Para técnicas de detecção de ilhamento passivo, a incorporação de ferramentas de processamento de sinal e classificadores inteligentes poderá superar suas limitações de grande zona de não detecção e configuração de limite. Técnicas eficientes de detecção de ilhamento baseada em processamento de sinal desempenham um papel importante para uma operação de ilhamento bem-sucedida nas Gds. Dessa forma, sua implementação pode aumentar a confiabilidade e a qualidade da energia do sistema. Assim, técnicas baseadas em processamento de sinais têm grande potencial para serem utilizadas em aplicações de tempo real.

REFERÊNCIAS

A. Habibi, **"Introduction to wavelets,"** Proceedings of MILCOM '95, San Diego, CA, USA, 1995, pp. 879-885 vol.2, doi: 10.1109/MILCOM.1995.483653.

A. Pigazo, M. Liserre, R. A. Mastromauro, V. M. Moreno and A. Dell'Aquila**, "Wavelet-Based Islanding Detection in Grid-Connected PV Systems,"** in IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 56, no. 11, pp. 4445-4455, Nov. 2009, doi: 10.1109/TIE.2008.928097.

A. Pigazo, V. M. Moreno, M. Liserre and A. Dell'Aquila, "**Wavelet-Based Islanding Detection Algorithm for Single-Phase Photovoltaic (PV)** Distributed Generation Systems," 2007 IEEE International Symposium on Industrial Electronics, Vigo, 2007, pp. 2409-2413, doi: 10.1109/ISIE.2007.4374984.

A. Rostami, A. Jalilian, S. Zabihi, J. Olamaei e E. Pouresmaeil, **"Islanding Detection of Distributed Generation Based on Parallel Inductive Impedance Switching**", em IEEE Systems Journal , vol. 14, n. 1, pp. 813-823, march de 2020, doi: 10.1109 / JSYST.2019.2923289.

A. Samui and S. R. Samantaray, **"Performance assessment of wavelet transform based islanding detection relay,"** 2012 Annual IEEE India Conference (INDICON), Kochi, 2012, pp. 545-550, doi: 10.1109/INDCON.2012.6420678.

A. Samui and S. R. Samantaray, **"Wavelet Singular Entropy-Based Islanding Detection in Distributed Generation,"** in IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 28, no. 1, pp. 411-418, Jan. 2013, doi: 10.1109/TPWRD.2012.2220987.

A. Y. Ayenu-Prah & N. O. Attoh-Okine (2009) **Comparative study of Hilbert–Huang transform, Fourier transform and wavelet transform in pavement profile analysis, Vehicle System Dynamics,** 47:4, 437-456, DOI: 10.1080/00423110802167466.

A.H. Mohammadzadeh Niaki, S. Afsharnia, **A new passive islanding detection method and its performance evaluation for multi-DG systems**, Electric Power Systems Research, Volume 110, 2014, Pages 180-187, ISSN 0378-7796, https://doi.org/10.1016/j.epsr.2014.01.016.

Ahmad G. Abd-Elkader, Dalia F. Allam, Elsayed Tageldin, **Islanding detection method for DFIG wind turbines using artificial neural networks,** International Journal of Electrical Power & Energy Systems, Volume 62, 2014, Pages 335-343, ISSN 0142-0615, https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2014.04.052.

Aziah Khamis HS, Wanik MZC. **Pattern recognition of islanding detection using tt-transform.** J Asian Sci Res 2010;2:607–13.

Aziah Khamis, Hussain Shareef, Azah Mohamed, Erdal Bizkevelci, **Islanding detection in a distributed generation integrated power system using phase space technique and probabilistic neural network,** Neurocomputing, Volume 148, 2015, Pages 587-599, ISSN 0925-2312, https://doi.org/10.1016/j.neucom.2014.07.004.

B. Biswal, P.K. Dash, B.K. Panigrahi. **Non-stationary power signal processing for pattern recognition using HS-transform,** Applied Soft Computing, Volume 9, Issue 1, 2009, Pages 107-117, ISSN 1568-4946, https://doi.org/10.1016/j.asoc.2008.03.004.

Byunggyu Yu, Mikihiko Matsui, Gwonjong Yu, **A review of current anti-islanding methods for photovoltaic power system, Solar Energy,** Volume 84, Issue 5, 2010, Pages 745-754, ISSN 0038-092X, https://doi.org/10.1016/j.solener.2010.01.018.

C. F. Drummond and D. Sutanto, **"Classification of Power Quality disturbances using the iterative Hilbert Huang Transform**," Proceedings of 14th International Conference on Harmonics and Quality of Power - ICHQP 2010, Bergamo, 2010, pp. 1-7, doi: 10.1109/ICHQP.2010.5625326.

C. Simon, M. Schimmel and J. J. Danobeitia, **"On the TT-Transform and Its Diagonal Elements,"** in IEEE Transactions on Signal Processing, vol. 56, no. 11, pp. 5709-5713, Nov. 2008, doi: 10.1109/TSP.2008.929670.

C.R. Pinnegar, L. Mansinha, A method of time–time analysis: **The TT-transform, Digital Signal Processing,** Volume 13, Issue 4, 2003, Pages 588-603, ISSN 1051-2004, https://doi.org/10.1016/S1051-2004(03)00022-8.

Canbing Li, Chi Cao, Yijia Cao, Yonghong Kuang, Long Zeng, Baling Fang, **A review of islanding detection methods for microgrid, Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Volume 35, 2014, Pages 211-220, ISSN 1364-0321, https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.04.026.

Cheng-Tao Hsieh, Jeu-Min Lin, Shyh-Jier Huang, **Enhancement of islanding-detection of distributed generation systems via wavelet transform-based approaches**, International Journal of Electrical Power & Energy Systems, Volume 30, Issue 10, 2008, Pages 575-580, ISSN 0142-0615, https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2008.08.006.

D. Donnelly**, "The Fast Fourier and Hilbert-Huang Transforms: A Comparison**," The Proceedings of the Multiconference on "Computational Engineering in Systems Applications", Beijing, 2006, pp. 84-88, doi: 10.1109/CESA.2006.4281628.

D. Reigosa, F. Briz, C. B. Charro, P. Garcia and J. M. Guerrero, **"Active Islanding Detection Using High-Frequency Signal Injection,"** in IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 48, no. 5, pp. 1588-1597, Sept.-Oct. 2012, doi: 10.1109/TIA.2012.2209190.

D. Reigosa, F. Briz, C. Blanco, P. García and J. Manuel Guerrero, **"Active Islanding Detection for Multiple Parallel-Connected Inverter-Based Distributed Generators Using High-Frequency Signal Injection**," in IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 29, no. 3, pp. 1192-1199, March 2014, doi: 10.1109/TPEL.2013.2263845.

D. Velasco, C. Trujillo, G. Garcera and E. Figueres, "**An Active Anti-Islanding Method Based on Phase-PLL Perturbation,"** in IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 26, no. 4, pp. 1056-1066, April 2011, doi: 10.1109/TPEL.2010.2089643.

D. Velasco, C.L. Trujillo, G. Garcerá, E. Figueres, **Review of anti-islanding techniques in distributed generators, Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Volume 14, Issue 6, 2010, Pages 1608-1614, ISSN 1364-0321, https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.02.011

Dehghani, M**.. "Comparison of S-transform and Wavelet Transform in Power Quality Analysis."** International Journal of Electrical and Computer Engineering 3 (2009): 225-228.

E. A. P. Gomes, J. C. M. Vieira, D. V. Coury and A. C. B. Delbem, **"Islanding detection of synchronous distributed generators using data mining complex correlations**," in IET Generation, Transmission & Distribution, vol. 12, no. 17, pp. 3935-3942, 30 9 2018, doi: 10.1049/iet-gtd.2017.1722.

E. Jacobsen and R. Lyons, **"The sliding DFT**," in IEEE Signal Processing Magazine, vol. 20, no. 2, pp. 74-80, March 2003, doi: 10.1109/MSP.2003.1184347.

F. De Mango, M. Liserre, A. Dell'Aquila and A. Pigazo, **"Overview of Anti-Islanding Algorithms for PV Systems. Part I: Passive Methods,"** 2006 12th International Power Electronics and Motion Control Conference, Portoroz, 2006, pp. 1878-1883, doi: 10.1109/EPEPEMC.2006.4778679.

F. Liu, Y. Kang, Y. Zhang, S. Duan, X. Lin **Improved SMS islanding detection method for grid-connected converters** IET Renew Power Gen, 4 (2010), pp. 36-42.

Guiliang Yin, **"A Distributed Generation Islanding Detection Method Based on Artificial Immune System**," 2005 IEEE/PES Transmission & Distribution Conference & Exposition: Asia and Pacific, Dalian, 2005, pp. 1-4, doi: 10.1109/TDC.2005.1547072.

H. G. Far, A. J. Rodolakis and G. Joos, **"Synchronous Distributed Generation Islanding Protection Using Intelligent Relays,"** in IEEE Transactions on Smart Grid, vol. 3, no. 4, pp. 1695-1703, Dec. 2012, doi: 10.1109/TSG.2012.2208659.

H. H. Zeineldin and S. Kennedy, **"Sandia Frequency-Shift Parameter Selection to Eliminate Non detection Zones,"** in IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 24, no. 1, pp. 486-487, Jan. 2009, doi: 10.1109/TPWRD.2008.2005362.

H. Karimi, A. Yazdani and R. Iravani, **"Negative-Sequence Current Injection for Fast Islanding Detection of a Distributed Resource Unit**," in IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 23, no. 1, pp. 298-307, Jan. 2008, doi: 10.1109/TPEL.2007.911774

H. Kazemi Karegar, B. Sobhani. **Wavelet transform method for islanding detection of wind turbines, Renewable** Energy, Volume 38, Issue 1, 2012, Pages 94-106, ISSN 0960-1481, https://doi.org/10.1016/j.renene.2011.07.002.

H.H. Zeineldin, T. Abdel-Galil, E.F. El-Saadany, M.M.A. Salama, **Islanding detection of grid connected distributed generators using TLS-ESPRIT**, Electric Power Systems Research, Volume 77, Issue 2, 2007, Pages 155-162, ISSN 0378-7796, https://doi.org/10.1016/j.epsr.2006.02.010.

H.H. Zeineldin, T. Abdel-Galil, E.F. El-Saadany, M.M.A. Salama, **Islanding detection of grid connected distributed generators using TLS-ESPRIT,** Electric Power Systems Research, Volume 77, Issue 2, 2007, Pages 155-162, ISSN 0378-7796, https://doi.org/10.1016/j.epsr.2006.02.010.

H.H. Zeineldin, S. Conti. **Sandia frequency shift parameter selection for multi-inverter systems to eliminate non-detection zone.** IET Renew Power Gen, 5 (2011), pp. 175-183. http://dx.doi.org/10.1049/iet-rpg.2010.0096.

Hopewell, P. D., Jenkins, N., & Cross, A. D. (1996). ***Loss-of-mains detection for small generators.*** *IEE Proceedings - Electric Power Applications, 143(3), 225*. doi:10.1049/ip-epa:19960286 http://dx.doi.org/10.1049/iet-rpg.2009.0019.

I. Daubechies, **"The wavelet transform, time-frequency localization and signal analysis**," in IEEE Transactions on Information Theory, vol. 36, no. 5, pp. 961-1005, Sept. 1990, doi: 10.1109/18.57199.

Il-Song Kim, **Islanding Detection Technique using Grid-Harmonic Parameters in the Photovoltaic System**, Energy Procedia, Volume 14, 2012, Pages 137-141, ISSN 1876-6102, https://doi.org/10.1016/j.egypro.2011.12.908.

J. Kim, J. Kim, Y. Ji, Y. Jung and C. Won, **"An Islanding Detection Method for a Grid-Connected System Based on the Goertzel Algorithm,"** in IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 26, no. 4, pp. 1049-1055, April 2011, doi: 10.1109/TPEL.2011.2107751.

J. Merino, P. Mendoza-Araya, G. Venkataramanan and M. Baysal, **"Islanding Detection in Microgrids Using Harmonic Signatures,"** in IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 30, no. 5, pp. 2102-2109, Oct. 2015, doi: 10.1109/TPWRD.2014.2383412.

J. Ning and C. Wang, **"Feature extraction for islanding detection using Wavelet Transform-based Multi-Resolution Analysis**," 2012 IEEE Power and Energy Society General Meeting, San Diego, CA, 2012, pp. 1-6, doi: 10.1109/PESGM.2012.6345061.

J. Yin, L. Chang and C. Diduch, **"A new hybrid anti-islanding algorithm in grid connected three-phase inverter system,"** 2006 37th IEEE Power Electronics Specialists Conference, Jeju, 2006, pp. 1-7, doi: 10.1109/pesc.2006.1711989.

K. P. Sozanski, **"Sliding DFT control algorithm for three-phase active power filter,"** Twenty-First Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition, 2006. APEC '06., Dallas, TX, 2006, pp. 7 pp.-, doi: 10.1109/APEC.2006.1620695.

Khamis, A. and H. Shareef. **"An Effective Islanding Detection and Classification Method Using Neuro-Phase Space Technique.**" World Academy of Science, Engineering and Technology, International Journal of Electrical, Computer, Energetic, Electronic and Communication Engineering 7 (2013): 711-719.

Ku Nurul Edhura Ku Ahmad, Jeyraj Selvaraj, Nasrudin Abd Rahim, **A review of the islanding detection methods in grid-connected PV inverters,** Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 21, 2013, Pages 756-766, ISSN 1364-0321, https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.01.018.

L. W. Arachchige and A. Rajapakse, "**A pattern recognition approach for detecting power islands using transient signals — Part I: Design and implementation**," 2011 IEEE Power and Energy Society General Meeting, Detroit, MI, USA, 2011, pp. 1-1, doi: 10.1109/PES.2011.6038901.

LIMA, R.L., **Metodologias para Determinar a Viabilidade Técnica do Ilhamento Intencional de Geradores Distribuídos em Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica**. 142 p. Tese de Doutorado – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2018.

Liu YH, Luor TS, Huang SJ, Lin JM. **Method and system for detecting standalone operation of a distributed generating system** (US20050146224 A1). Patents; 2005.

Lopes LAC, Huili S. **Performance assessment of active frequency drifting islanding detection methods.** IEEE Trans Energy Convers 2006;21:171–80.

M. Al Hosani, Z. Qu and H. H. Zeineldin, **"Development of Dynamic Estimators for Islanding Detection of Inverter-Based DG,"** in IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 30, no. 1, pp. 428-436, Feb. 2015, doi: 10.1109/TPWRD.2014.2348654.

M. E. Ropp, M. Begovic and A. Rohatgi, "**Analysis and performance assessment of the active frequency drift method of islanding prevention**," in IEEE Transactions on Energy Conversion, vol. 14, no. 3, pp. 810-816, Sept. 1999, doi: 10.1109/60.790956.

M. Hanif, M. Basu and K. Gaughan, **"Development of EN50438 compliant wavelet-based islanding detection technique for three-phase static distributed generation systems**," in IET Renewable Power Generation, vol. 6, no. 4, pp. 289-301, July 2012, doi: 10.1049/iet-rpg.2011.0290.

M. Hanif, U. D. Dwivedi, M. Basu and K. Gaughan, **"Wavelet based islanding detection of DC-AC inverter interfaced DG systems**," 45th International Universities Power Engineering Conference UPEC2010, Cardiff, Wales, 2010, pp. 1-5.

M. J. Afroni, D. Sutanto and D. Stirling, **"Analysis of Nonstationary Power-Quality Waveforms Using Iterative Hilbert Huang Transform and SAX Algorithm,"** in IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 28, no. 4, pp. 2134-2144, Oct. 2013, doi: 10.1109/TPWRD.2013.2264948.

M. Karimi, H. Mokhtari and M. R. Iravani, **"Wavelet based on-line disturbance detection for power quality applications,"** in IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 15, no. 4, pp. 1212-1220, Oct. 2000, doi: 10.1109/61.891505.

M. Mishra, M. Sahani, P.K. Rout, **An islanding detection algorithm for distributed generation based on Hilbert–Huang transform and extreme learning machine,** Sustainable Energy, Grids and Networks, Volume 9, 2017, Pages 13-26, ISSN 2352-4677, https://doi.org/10.1016/j.segan.2016.11.002.

Manohar Mishra, Sheetal Chandak, Pravat Kumar Rout, **Taxonomy of Islanding detection techniques for distributed generation in microgrid,** Renewable Energy Focus, Volume 31, 2019, Pages 9-30, ISSN 1755-0084, https://doi.org/10.1016/j.ref.2019.09.001.

MARCHESAN, G., **Detecção de Ilhamento em Sistemas de Distribuição com Geração Síncrona Distribuída**. 129 p. Tese de Doutorado – Universidade Federal de Santa Maria, 2016.

Masoud Ahmadipour, Hashim Hizam, Mohammad Lutfi Othman, Mohd Amran Mohd Radzi, Nikta Chireh, **A novel islanding detection technique using modified Slantlet transform in multi-distributed generation**, International Journal of Electrical Power & Energy Systems, Volume 112, 2019, Pages 460-475, ISSN 0142-0615, https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2019.05.008.

Mehrdad Heidari, Ghodratollah Seifossadat, Morteza Razaz, **Application of decision tree and discrete wavelet transform for an optimized intelligent-based islanding detection method in distributed systems with distributed generations**, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 27, 2013,Pages 525-532, ISSN 1364-0321, https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.06.047.

Mollah Rezaul Alam, Tapan K. Saha, **Detection of DG-islanding employing decision boundary of polarization ellipse parameters**, Electric Power Systems Research, Volume 188, 2020, 106536, ISSN 0378-7796, https://doi.org/10.1016/j.epsr.2020.106536.

MR Alam, MTA Begum e B. Mather, **"Islanding Detection of Distributed Generation Using Electrical Variables in Space Vector Domain**," em IEEE Transactions on Power Delivery , vol. 35, n. 2, pp. 861-870, April de 2020, doi: 10.1109 / TPWRD.2019.2929784.

N. Huang, D. Xu and X. Liu, **"Power Quality Disturbances Recognition Based on HS-transform,"** 2010 First International Conference on Pervasive Computing, Signal Processing and Applications, Harbin, 2010, pp. 311-314, doi: 10.1109/PCSPA.2010.82

N. W. A. Lidula and A. D. Rajapakse, **"A Pattern Recognition Approach for Detecting Power Islands Using Transient Signals—Part I: Design and Implementation**," in IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 25, no. 4, pp. 3070-3077, Oct. 2010, doi: 10.1109/TPWRD.2010.2053724

N. W. A. Lidula and A. D. Rajapakse, **"A Pattern-Recognition Approach for Detecting Power Islands Using Transient Signals—Part II: Performance Evaluation**," in IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 27, no. 3, pp. 1071-1080, July 2012, doi: 10.1109/TPWRD.2012.2187344.

O'Kane P, Fox B. **Loss of mains detection for embedded generation by system impedance monitoring**. In: Sixth international conference on developments in power system protection (Conf Publ No 434); 1997. p. 95–8.

P. K. Dash, B. K. Panigrahi and G. Panda, **"Power quality analysis using S-transform,"** in IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 18, no. 2, pp. 406-411, April 2003, doi: 10.1109/TPWRD.2003.809616.

P. K. Dash, B. K. Panigrahi, D. K. Sahoo and G. Panda, **"Power quality disturbance data compression, detection, and classification using integrated spline wavelet and S-transform,"** in IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 18, no. 2, pp. 595-600, April 2003, doi: 10.1109/TPWRD.2002.803824.

P. K. Ray, N. Kishor and S. R. Mohanty, **"S-transform based islanding detection in grid-connected distributed generation based power system**," 2010 IEEE International Energy Conference, Manama, 2010, pp. 612-617, doi: 10.1109/ENERGYCON.2010.5771754.

P. K. Ray, S. R. Mohanty, N. Kishor and H. C. Dubey, **"Coherency determination in grid-connected distributed generation based hybrid system under islanding scenarios,"** 2010 IEEE International Conference on Power and Energy, Kuala Lumpur, 2010, pp. 85-88, doi: 10.1109/PECON.2010.5697562.

P.K. Dash, Malhar Padhee, T.K. Panigrahi, **A hybrid time–frequency approach based fuzzy logic system for power island detection in grid connected distributed generation**, International Journal of Electrical Power & Energy Systems, Volume 42, Issue 1, 2012, Pages 453-464, ISSN 0142-0615, https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2012.04.003.

Prakash K. Ray, Soumya R. Mohanty, Nand Kishor, **Disturbance detection in grid-connected distributed generation system using wavelet and S-transform**, Electric Power Systems Research, Volume 81, Issue 3, 2011, Pages 805-819, ISSN 0378-7796, https://doi.org/10.1016/j.epsr.2010.11.011.

R. A. Brown, M. L. Lauzon and R. Frayne, **"A General Description of Linear Time-Frequency Transforms and Formulation of a Fast, Invertible Transform That Samples the Continuous S-Transform Spectrum Non redundantly**," in IEEE Transactions on Signal Processing, vol. 58, no. 1, pp. 281-290, Jan. 2010, doi: 10.1109/TSP.2009.2028972.

R. Bekhradian, M. Davarpanah e M. Sanaye-Pasand, **"Nov Approach for Secure Islanding Detection in Synchronous Generator Based Microgrids",** em IEEE Transactions on Power Delivery , vol. 34, nº 2, pp. 457-466, April de 2019, doi: 10.1109 / TPWRD.2018.2869300.

R. G. Stockwell, L. Mansinha and R. P. Lowe, **"Localization of the complex spectrum: the S transform,"** in IEEE Transactions on Signal Processing, vol. 44, no. 4, pp. 998-1001, April 1996, doi: 10.1109/78.492555.

R. Nale, K. Venkatanagaraju, S. Biswal, M. Biswal e N. Kishor, **"Islanding detection in distributed generation system using intrinsic time decomposition",** em IET Generation, Transmission & Distribution , vol. 13, n. 5, pp. 626-633, 12.3.2019, doi: 10.1049 / iet-gtd.2018.5645.

R. Shariatinasab and M. Akbari, **"New islanding detection technique for DG using Discrete Wavelet Transform,"** 2010 IEEE International Conference on Power and Energy, Kuala Lumpur, 2010, pp. 294-299, doi: 10.1109/PECON.2010.5697593.

R. Sharma and P. Singh, **"Islanding detection and control in grid based system using wavelet transform,"** 2012 IEEE Fifth Power India Conference, Murthal, 2012, pp. 1-4, doi: 10.1109/PowerI.2012.6479557.

R. Zamani e MEH Golshan, **"Islanding Detection of Synchronous Machine – based Distributed Generators using Signal Trajectory Pattern Recognition**", 2018 6th International Istanbul Smart Grids and Cities Congress and Fair (ICSG) , Istanbul, 2018, pp. 91-95, doi : 10.1109 / SGCF.2018.8408949.

Reza Zamani, Mohammad Esmail Hamedani Golshan, Hassan Haes Alhelou, Nikos Hatziargyriou, **A novel hybrid islanding detection method using dynamic characteristics of synchronous generator and signal processing technique**, Electric Power Systems Research, Volume 175, 2019, 105911, ISSN 0378-7796, https://doi.org/10.1016/j.epsr.2019.105911.

S. A. Gonzalez, R. Garcia-Retegui and M. Benedetti, **"Harmonic Computation Technique Suitable for Active Power Filters**," in IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 54, no. 5, pp. 2791-2796, Oct. 2007, doi: 10.1109/TIE.2007.894789.

S. Chen, **"Feature selection for identification and classification of power quality disturbances,"** IEEE Power Engineering Society General Meeting, 2005, San Francisco, CA, 2005, pp. 2301-2306 Vol. 3, doi: 10.1109/PES.2005.1489187.

S. Kar and S. R. Samantaray, **"Data-mining-based intelligent anti-islanding protection relay for distributed generations,"** in IET Generation, Transmission & Distribution, vol. 8, no. 4, pp. 629-639, April 2014, doi: 10.1049/iet-gtd.2013.0494.

S. Mishra, C. N. Bhende and B. K. Panigrahi, **"Detection and Classification of Power Quality Disturbances Using S-Transform and Probabilistic Neural Network,"** in IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 23, no. 1, pp. 280-287, Jan. 2008, doi: 10.1109/TPWRD.2007.911125.

S. Murugesan e V. Murali, **"Active Unintentional Islanding Detection Method for Multiple-PMSG-Based DGs",** em IEEE Transactions on Industry Applications , vol. 56, n. 5, pp. 4700-4708, set.-Out. 2020, doi: 10.1109 / TIA.2020.3001504.

S. R. Mohanty, N. Kishor, P. K. Ray and J. P. S. Catalão, **"Islanding detection in a distributed generation based hybrid system using intelligent pattern recognition techniques,"** 2012 3rd IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Europe (ISGT Europe), Berlin, 2012, pp. 1-5, doi: 10.1109/ISGTEurope.2012.6465689.

S. R. Mohanty, N. Kishor, P. K. Ray and J. P. S. Catalo, **"Comparative Study of Advanced Signal Processing Techniques for Islanding Detection in a Hybrid Distributed Generation** System," in IEEE Transactions on Sustainable Energy, vol. 6, no. 1, pp. 122-131, Jan. 2015, doi: 10.1109/TSTE.2014.2362797

S. R. Samantaray, A. Samui and B. Chitti Babu, **"S-transform based cumulative sum detector (CUSUM) for islanding detection in Distributed Generations,"** 2010 Joint International Conference on Power Electronics, Drives and Energy Systems & 2010 Power India, New Delhi, 2010, pp. 1-6, doi: 10.1109/PEDES.2010.5712397.

S. R. Samantaray, K. El-Arroudi, G. Joós and I. Kamwa, **"A Fuzzy Rule-Based Approach for Islanding Detection in Distributed Generation,"** in IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 25, no. 3, pp. 1427-1433, July 2010, doi: 10.1109/TPWRD.2010.2042625.

S. R. Samantaray, T. M. Pujhari and B. D. Subudhi, **"A new approach to islanding detection in distributed generations,"** 2009 International Conference on Power Systems, Kharagpur, 2009, pp. 1-6, doi: 10.1109/ICPWS.2009.5442689.

S. Santoso, E. J. Powers and W. M. Grady, **"Power quality disturbance data compression using wavelet transform methods,"** in IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 12, no. 3, pp. 1250-1257, July 1997, doi: 10.1109/61.637001.

S. Santoso, E. J. Powers, W. M. Grady and P. Hofmann, **"Power quality assessment via wavelet transform analysis,"** in IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 11, no. 2, pp. 924-930, April 1996, doi: 10.1109/61.489353

S. Shadpey, B. Shadpey e G. Babaabasi, **"A Novel Method for Islanding Detection in Synchronous-Based Distributed Generation System Using Magnetomotive Force Changes and k-NN classifier"**, 2019 International Power System Conference (PSC) , Teerã, Irã, 2019, pp. 757-763, doi: 10.1109 / PSC49016.2019.9081461.

S. Ventosa, C. Simon, M. Schimmel, J. J. Danobeitia and A. Manuel, **"The S-Transform From a Wavelet Point of View,"** in IEEE Transactions on Signal Processing, vol. 56, no. 7, pp. 2771-2780, July 2008, doi: 10.1109/TSP.2008.917029.

S.P. Chowdhury, S. Chowdhury, P.A. Crossley, **Islanding protection of active distribution networks with renewable distributed generators: A comprehensive survey**, Electric Power Systems Research, Volume 79, Issue 6, 2009, Pages 984-992, ISSN 0378-7796, https://doi.org/10.1016/j.epsr.2008.12.012.

Safdar Raza, Hazlie Mokhlis, Hamzah Arof, J.A. Laghari, Li Wang, **Application of signal processing techniques for islanding detection of distributed generation in distribution network: A review,** Energy Conversion and Management, Volume 96, 2015, Pages 613-624, ISSN 0196-8904, https://doi.org/10.1016/j.enconman.2015.03.029.

Shayeghi, B. Sobhani, **Zero NDZ assessment for anti-islanding protection using wavelet analysis and neuro-fuzzy system in inverter based distributed generation**, Energy Conversion and Management, Volume 79, 2014, Pages 616-625, ISSN 0196-8904, https://doi.org/10.1016/j.enconman.2013.12.062.

Sung-Il Jang and Kwang-Ho Kim, **"An islanding detection method for distributed generations using voltage unbalance and total harmonic distortion of current**," in IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 19, no. 2, pp. 745-752, April 2004, doi: 10.1109/TPWRD.2003.822964.

V. Menon and M. H. Nehrir, "**A Hybrid Islanding Detection Technique Using Voltage Unbalance and Frequency Set Point**," in IEEE Transactions on Power Systems, vol. 22, no. 1, pp. 442-448, Feb. 2007, doi: 10.1109/TPWRS.2006.887892.

VIEIRA JÚNIOR, José Carlos de Melo, **Metodologias para ajuste e avaliação do desempenho de relés de proteção anti-ilhamento de geradores síncronos distribuídos**. 207 p. Tese de Doutorado - UNICAMP,2006.

W. G. Morsi, C. P. Diduch and L. Chang, **"A new islanding detection approach using wavelet packet transform for wind-based distributed generation,"** The 2nd International Symposium on Power Electronics for Distributed Generation Systems, Hefei, 2010, pp. 495-500, doi: 10.1109/PEDG.2010.5545860.

W.-J. Chiang , H.-L. Jou , J.-C. Wu **Virtual inductor-based islanding detection method for grid-connected power inverter of distributed power generation system** Int J Electr Power , 42 (2012) , pp. 158 – 166. http://dx.doi.org/10.1049/iet-rpg:20070018

Walid G. Morsi, M.E. El-Hawary. **Novel power quality indices based on wavelet packet transform for non-stationary sinusoidal and non-sinusoidal disturbances**, Electric Power Systems Research, Volume 80, Issue 7, 2010, Pages 753-759, ISSN 0378-7796, https://doi.org/10.1016/j.epsr.2009.11.005.

Wen-Jung Chiang, Hurng-Liahng Jou, Jinn-Chang Wu, **Active islanding detection method for inverter-based distribution generation power system**, International Journal of Electrical Power & Energy Systems, Volume 42, Issue 1, 2012, Pages 158-166, ISSN 0142-0615, https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2012.03.038.

Y. Fayyad and A. Osman, **"Neuro-wavelet based islanding detection technique,"** 2010 IEEE Electrical Power & Energy Conference, Halifax, NS, 2010, pp. 1-6, doi: 10.1109/EPEC.2010.5697180.

Y. H. Gu and M. H. J. Bollen, **"Time-frequency and time-scale domain analysis of voltage disturbances,"** in IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 15, no. 4, pp. 1279-1284, Oct. 2000, doi: 10.1109/61.891515.

Yanping Zhu, Qiuxia Yang, Junjuan Wu, Dezhong Zheng and Yuexin Tian, **"A novel islanding detection method of distributed generator based on wavelet transform**," 2008 International Conference on Electrical Machines and Systems, Wuhan, 2008, pp. 2686-2688.

Z.K. Peng, Peter W. Tse, F.L. Chu, **A comparison study of improved Hilbert–Huang transform and wavelet transform: Application to fault diagnosis for rolling bearing**, Mechanical Systems and Signal Processing, Volume 19, Issue 5, 2005, Pages 974-988, ISSN 0888-3270, https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2004.01.006

CAPÍTULO 2

CRITICAL ANALYSIS OF THEORIES ON THE ORIGINS OF GEOMAGNETISM

Data de aceite: 01/12/2023

Márcio Antônio Sens
UFF- Fluminense Federal University – Niterói – RJ - Brazil.

ABSTRACT: The origins of geomagnetism, to the present day, are not sufficiently well explained. The various theories already presented, for more than a century, none of them attend to all geomagnetic phenomena and behaviors observed in time, whether in units of seconds (s); of hours (h); of days (d); years (a); centuries (100 years); millennia (ka) or millions of years (Ma). The most scientifically accepted theory is the one presented on November 15, 1919, by Joseph Larmor – that of the geodynamo, which would also justify solar magnetism and which, under no circumstances, justifies all the geomagnetic behaviors already verified experimentally. For lack of a better theory, this one has been accepted, until a better one appears on the scientific scene. The dynamo theory was also proposed by the German-born American physicist Walter M. Elsasser and the British geophysicist Edward Bullard in the mid-20th century. The present work will critically discuss the main published theories to justify the spectacular and mysterious appearance of the terrestrial magnetic field that, certainly, would justify, in the same way, the magnetic field existing in other celestial bodies.
KEYWORDS: geomagnetism; origin; theory; analysis; criticism; geodynamo.

1 I INTRODUCTION

The origins of geomagnetism are far from being justified through mathematical simulations based on electromagnetism. Likewise, despite an exhaustive search, no scientific experiments are found, on any scale, capable of proving any of the numerous hypotheses already raised for the origin of terrestrial magnetism. The great difficulties encountered in proving experimentally are not in the means of generating the magnetic fields themselves, but in the justification for all the numerous behaviors of geomagnetism over time, including the proven reversals of polarities.

The most scientifically accepted theory to date, to justify the origin of geomagnetism, is the geodynamo theory [1].

2 I MOTIVATION

The intention of this work is to show and encourage new studies and scientific experiments that are able to better explain the origins and variations of geomagnetism over time, emphasizing that to date there has been no success in these objectives, thus constituting one of the great scientific enigmas.

3 I METHODOLOGY

Bibliographic surveys were carried out on the main hypotheses already found and published on the justifications and theories for the emergence and existence of terrestrial magnetism. Each hypothesis was carefully and scientifically evaluated for judgment of validation or invalidation.

For the present expert analysis, the following assumptions are assumed to be very likely to be true:

3.1 The geomagnetic pole is the position on the surface of the terrestrial ellipsoid where the magnetic field is perpendicular to it;

3.2 The north and south geomagnetic poles are not currently antipodes, that is, they are not located diametrically opposite the terrestrial globe;

3.3 The geomagnetic axis is currently not aligned with the Earth's axis and rotation;

3.4 The North and South geomagnetic poles are currently close to the South and North geographic poles, respectively. That is, the south geomagnetic pole is located in the Arctic and the north in Antarctica;

3.5 The Earth's core contains a solid part in the center, called the inner core;

3.6 The inner solid core is floating in a liquid medium, called the core;

3.7 The solid core is currently rotating in the same direction as planet Earth, but not necessarily in sync;

3.8 The Earth's inner core is at extremely high temperatures, incandescent, around 5000 ºC[2];

3.9 The geomagnetic poles undergo inversions and excursions, but not periodically, only sporadically;

3.10 The direction and sense of the magnetic field generated by the electric current in a loop, ring or coil, meets the rule of the right hand, where the fingers follow the direction and sense of the current and the thumb indicates the direction and sense of the magnetic field generated;

3.11 The conventional direction of electric current in a material is contrary to the movement of electrons, or negative charges, and favorable to the pseudo movement of protons;

3.12 The direction and sense of the magnetic field generated by the movement of

electrons, or negative ions, meet the left hand rule.

It is estimated that an electric current of the order of 3 GA around the core, or 17.4 GA around the inner core, could generate the Earth's existing magnetic field. **Figure 1** illustrates and demonstrates, through the equations of electromagnetism, the possibility of developing geomagnetism. However, that current would not be flowing in superconductors; therefore it would cause heat dissipation and would not have the eternal quasi-stability.

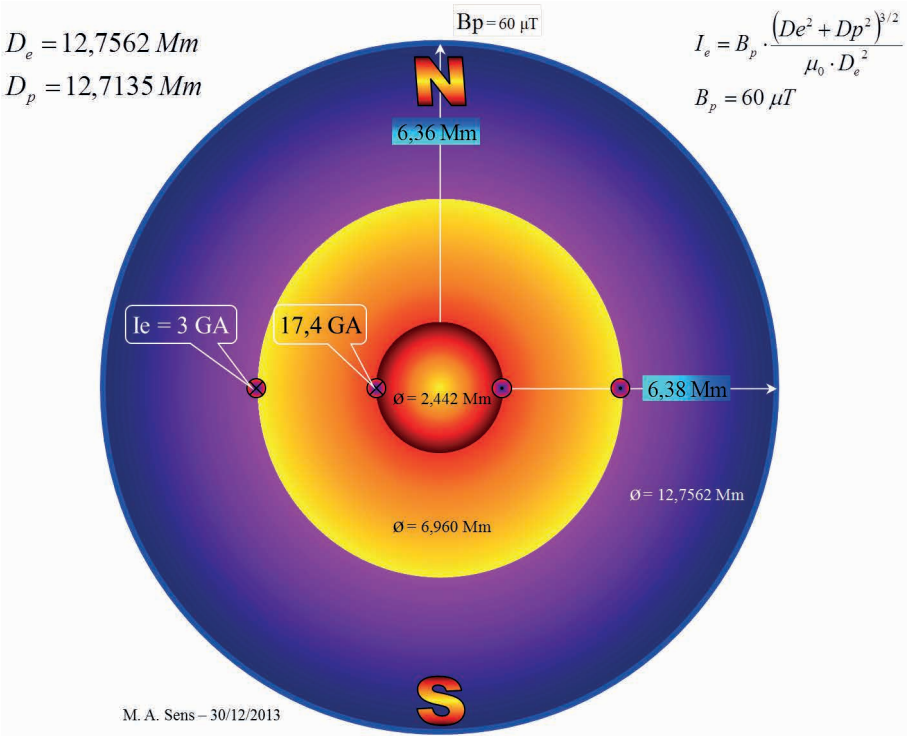


Figure 1 - Geomagnetism Generated By Electric Current in the Core

4 I HYPOTHESES FOUND TO JUSTIFY GEOMAGNETISM

4.1 Natural Magnets in the Earth's Crust

4.2 Natural Magnets in the Earth's Solid Core

4.3 Water Present on the Planet

4.4 Water in Rotation Movement

4.5 Natural Dynamo in the Fusing Nucleus

4.6 Relative motion between core and crust

4.7 Rotational Motion of the Incandescent Solid Inner Core

4.8 Turbulent Movement of the Fusing Nucleus

4.9 External Plasmatic Belt to the Planet

4.10 Electric Current in the Core that Arose in Creation

4.11 Metals Rotating in the Crust

4.12 Flux Metals Rotating in the Core

Judicious analysis can only be effected because generations of investigators, anonymous or public, have been able to strictly follow a set of simple rules for verifying ideas through experiments and observations; development of the ideas that passed the preliminary evaluations; reject those that do not meet the minimum requirements; continuing to study the evidence wherever it leads and, above all, questioning everything and every hypothesis raised to justify a phenomenon.

5 I EXPERT ANALYSIS OF HYPOTHESES ABOUT THE ORIGIN OF GEOMAGNETISM

5.1 Geomagnetism is generated by Natural Magnets in the Earth's Crust.

Although ferromagnetic materials in the Earth's crust can retain magnetism in orientation with declining orientation between axes of rotation and magnetic alignment, and yet, with the movement of the crust, cause inconstant decay - the angle of phase shift between axes is inconsistent, exhibit eccentricity - not passing through the center rotation of the Earth and does not change with the rotation of the Planet, under no circumstances could the reversal of polarity occur. In this way, the hypothesis that the origin of the geomagnetic field is due to natural magnets in the Earth's crust can be discarded.

5.2 Geomagnetism is generated by Natural Magnets in the Earth's Core.

It seems widespread that the interior of planet Earth is very hot, very hot, incandescent[2]. Hundreds of released images reveal the temperature gradient of the Earth's core compared to other layers.

Thus, at such high temperatures, even the terrestrial core being composed of iron and nickel, as is supposed, it would not present any magnetic property. It has been proven that such metals, as well as other ferromagnetics, at temperatures above 1400 ºC lose any remanent magnetism[3],[4]. Temperatures of the order of 5430 ºC have been indicated to represent the innermost environment of planet Earth[5]. In this way, the hypothesis that geomagnetism would originate in the ferromagnetic materials of the core can be discarded.

5.3 Geomagnetism is generated by the Water Present on the Planet

This hypothesis, to justify the geomagnetism, was registered in a notary in the Center

of Rio de Janeiro – RJ, Brazil. According to the author's opinion, only celestial cups containing water are provided with magnetism. Water does not have the capacity to generate magnetic fields, either in static or dynamic condition and it constitutes a diamagnetic material. Furthermore, even if there were the possibility of generating magnetic fields, there would be no possibility of polarity reversals occurring. In this way, the hypothesis that geomagnetism is generated by the water present on the Planet can be discarded.

5.4 Geomagnetism is generated by Water in Rotation Movement.

Water does not have the capacity to generate magnetic fields, either in static or dynamic condition and it constitutes a diamagnetic material. If there were the possibility of generating magnetic fields with the movement of the planet's waters, there could also be a shift angle between the axes that is inconstant, due to the movement of the crust. Even so, there would be no possibility of polarity reversals occurring without the reversal of the Planet's rotation. In this way, the hypothesis that geomagnetism is generated by water in rotation can be discarded.

5.5 Geomagnetism is generated by the Natural Geodynamo in the Fusing Nucleus.

The idea of a geodynamo attributes the generation of the magnetic field to the existence of electrical currents in the liquid medium of the Earth's core[1],[6],[7],[8]. However, this hypothesis does not even meet the current laws of physics. In order to induce currents, according to Faraday's Law, it is necessary to have a time-varying magnetic field on an electrical conductor.

This hypothesis of the emergence of the geomagnetic phenomenon is usually justified in comparison with the dynamo called Faraday disk, whose operation requires the existence of a static magnetic field and a rotating disk, that is, the existence of relative movements. Currents cannot be induced in a coil or ring using the magnetic field generated by the coil or ring itself. Considering that the conductor, not a good one, for being incandescent, would be the liquid core of the Earth, the magnetic field would have to be caused by magnetic poles external to the Planet. Or, the poles fixed in the crust and the core moving relative to it. One can imagine that the planet's melting core is made up of infinite conducting rings, concentric, with axes almost aligned with the Earth's axis.

If these rings move upwards and downwards and there is, by hypothesis, a fixed magnetic field in the crust, there would be an induction of electric currents in the rings, with the generation of magnetic fields in the opposite direction, according to Lens' Law of Physics. And, in this case, the fields would tend to cancel each other out and braking would occur, a dampened movement of the rings.

Such imaginary rings, evidently would all be in short circuit, would not be isolated

and, obviously, could not form turns or coils. In the event that there are electrical currents in the melting core, these would be of great magnitude and would cause high thermal dissipation. In the upward movement, the currents would be in one direction and in the downward movement in the opposite direction. That is, the magnetic fields would oscillate.

Even if there were the possibility of such geomagnetic generation, the poles could not reverse unless a reversal of rotation of the Planet, never reported, occurred. In the same way, this type of generation would not justify any excursion, or alignment of the magnetic axis with the Planet's Equator, very well verified the occurrence.

In this way, the hypothesis that geomagnetism is generated by the natural geodynamo in the planet's melting core can be discarded.

5.6 Geomagnetism is generated by Relative Motion between Nucleus and Crust.

The relative movement of the melting core with the Earth's crust could somehow generate electric currents, either by friction or by thermionic emission and, such currents, would cause the existing geomagnetism[9],[10]. Or, such friction when hot, it could simply cause an ionic layer on the periphery of the nucleus which, with the spin, would cause the magnetic field, even without current. However, these currents or movements of ions would have to be in the direction of the movement of the Planet, which would be quite possible, but for the occurrence of reversal one would have to invert the direction of rotation of the liquid mass, very unlikely.

In this way, the hypothesis that geomagnetism is generated by the relative movement between Earth's core and crust can be discarded.

5.7 Geomagnetism is generated by the Rotation of the Incandescent Solid Inner Core.

The inner core is understood as the central core, solid, and that it is incandescent[2]. There are plenty of indications that the positioning of the north magnetic pole has gradually migrated and lodged at different angles from West to East, in longitudes comprising an angle of 90 degrees in the last hundred years[11],[12], that is, a quarter back in the attic ice cap.

When publishing his geomagnetic map of 1701, E. Halley recorded his opinion about the origins of the geomagnetic field [13],[14],[15],[16],[17],[18].

Halley devoted much of his time to modeling and mapping the behavior of the Earth's magnetic field. His great ambition was to solve the age-old problem of longitude through a better understanding of the Earth's magnetic field.

In 1683, Halley produced the first of many papers on the Earth's magnetic field. In 1696, he argued that the Earth was made up of an outer layer and a separate inner core. Each would produce its own magnetic dipole. The movement of the inner core would

be responsible for the observed behavior of terrestrial magnetism[17],[18]. Although Halley's model was eventually proven wrong, his belief that the behavior of the planet's magnetic field had its origins deep in the Earth's core resonated with explanations that emerged in the 1950s. The core is molten and is in motion. Complex magnetohydrodynamic processes deep in the Earth, which are still not fully understood, may be responsible for the observed magnetic field behavior at the Earth's surface and above.

A decade ago Columbia University's Lamont-Doherty Earth Observatory announced that it had found that the Earth's inner core is rotating faster than the planet itself.

The inner core rotates in the same direction as the Earth and slightly faster, completing its rotation once a day, about two-thirds of a second less than the Planet.

It has been found that over the past 100 years the speed of the Earth's core has gained an extra quarter of a turn relative to the planet as a whole[19],[20]. Interestingly, this finding fits with the records given by NASA and Columbia University regarding the movement of the North magnetic pole position[11],[12].

Such movement is extremely fast for geological movements - about 100,000 times faster than the drift of continents, it has been observed.

Such conclusions were drawn after measurements of changes in the speed of seismic waves generated by earthquakes passing through the inner core.

The latest study builds on that research, linking the way the inner core rotates to the behavior of the outer core.

On the other hand, British studies answered the question about which direction the center of our Planet turns. The inner core, made up of massive iron, is super-rotated towards the East (where the sun rises, like the Earth's surface) - which means it spins faster than the rest of the planet - while the outer core, made up of mostly cast iron, rotates westward (where the Sun hides) at a slower pace[21].

A decade ago Columbia University's Lamont-Doherty Earth Observatory announced that it had found that the Earth's inner core is rotating faster than the planet itself.

The inner core rotates in the same direction as the Earth and slightly faster, completing its rotation once a day, about two-thirds of a second less than the Planet.

It has been found that over the past 100 years the speed of the Earth's core has gained an extra quarter of a turn relative to the planet as a whole[19],[20]. Interestingly, this finding fits with the records given by NASA and Columbia University regarding the movement of the North magnetic pole position[11],[12].

On the other hand, British studies answered the question about which direction the center of our Planet turns. The inner core, made up of massive iron, is super-rotated towards the East (where the sun rises, like the Earth's surface) - which means it spins faster than the rest of the planet - while the outer core, made up of mostly cast iron, rotates westward (where the Sun hides) at a slower pace[21]. But all this lacks fundamental mathematical confirmations in electromagnetism and experimental findings, not being, therefore, the

hypothesis, yet confirmed nor discarded.

5.8 Geomagnetism Is Generated by the Turbulent Movement of the Fusing Nucleus.

It is conjectured that the swirling flow of molten iron and nickel around the Earth's solid core causes an electric current, which generates the planet's magnetic field[22],[23]. Such a hypothesis does not find any basis if any of the facts and findings on geomagnetism. The very stability of geomagnetisms would not be possible by a turbulent, chaotic generator. Much less could a reversal in geomagnetism be justified by such a generating system.

In this way, the hypothesis that geomagnetism is generated by the swirling flow of molten iron and nickel around the solid core of the Earth can be ruled out.

5.9 Geomagnetism is generated by the Plasmatic Belt External to the Planet.

A plasmatic belt, external to the Planet, in the same way as the incandescent core, could behave like an electric current. And these clouds can generate magnetic fields in the direction of the belt's axis of rotation. Such a hypothesis does not find any foundation if we consider many of the facts and observations about geomagnetism, as detailed in 3. To name one, there could not and could not be a justification for a reversal in geomagnetism by such a generation system.

Thus, the hypothesis that geomagnetism is generated by the outer plasmatic belt of the Planet can be discarded.

5.10 Geomagnetism Is Generated By Electric Current In The Nucleus That Arose In Creation.

It is estimated that an electric current of the order of 3 GA could generate the current magnetic field existing on Earth. Figure 1 illustrates and demonstrates, using electromagnetism equations, this possibility of generating geomagnetism. However, this current would not be flowing in superconductors, therefore, it would cause heat dissipation and would not have the eternal quasi-stability. There is no way to justify the maintenance of this electric current, nor a reversal, to mention just one of the facts and findings about geomagnetism, described in **3**.

A scheme different from the schemes called geodynamos, was published in Brazil in 1999[24]. It is even thought that the end of the world could be predicted[25], by the extinction of the terrestrial magnetic field, obtained by linear extrapolation.

In this way, the hypothesis that the current geomagnetism is generated by an electric current in the core that arose in creation can be discarded.

5.11 Geomagnetism is generated by Rotating Metals in the Crust.

This hypothesis is not supported by concrete evidence that rotating, non-incandescent metals can cause magnetic fields and cannot meet the facts and findings on geomagnetism, described in 3. Thus, the hypothesis that geomagnetism is generated by metals rotating in the crust can be ruled out.

5.12 Geomagnetism is generated by Flux Metals Rotating in the Core.

This hypothesis, raised in a fiction film,[26], has been tested, in an attempt at an experimental reproduction, without success, by different researchers[8],[27]. The experiments, however, used hot but not incandescent liquid metals, both spinning and in turbulence. The results cannot meet the facts and findings on geomagnetism, described in **3**. There could be some decline, due to the movement of the crust, but never a reversal, to mention just two findings. In this way, the hypothesis that current geomagnetism is generated by molten metals rotating in the core can be discarded.

Table 1 shows whether or not the various hypotheses raised to justify geomagnetism were met.

TABLE 1 - EVALUATION OF THE HYPOTHESES BY THE CRITERIA

ITEM	HYPOTHESES TO JUSTIFY GEOMAGNETISM	Meet the observed Geomagnetic Behavior *					
		GMG	DCL	DIN	NAP	REV	EXC
4.1	Natural Magnets in the Earth's Crust	☑	☑	☑	☑	☐	☐
4.2	Natural Magnets in the Earth's Solid Core	☐	☑	☑	☑	☐	☑
4.3	Water Present on the Planet	☐	☑	☑	☑	☐	☐
4.4	Water in Rotation Movement	☐	☑	☑	☑	☐	☐
4.5	Natural Dynamo in the Fusing Nucleus	☑	☑	☑	☑	☐	☐
4.6	Relative motion between core and crust	☐	☑	☑	☑	☐	☐
4.7	Rotational Motion of the Incandescent Solid Inner Core	☑	☑	☑	☑	☑	☑
4.8	Turbulent Movement of the Fusing Nucleus	☑	☑	☑	☐	☐	☐
4.9	External Plasmatic Belt to the Planet	☑	☐	☐	☐	☐	☐
4.10	Electric Current in the Core that Arose in Creation	☑	☑	☐	☐	☐	☐
4.11	Metals Rotating in the Crust	☐	☑	☑	☑	☐	☐
4.12	Flux Metals Rotating in the Core	☑	☑	☐	☐	☐	☐

*GMG	Magnetism Generation – ability to generate magnetic fields.
DCL	Decline, or magnetic decline between axes of rotation and magnetic alignment.
DIN	Inconstant Decline – the offset angle between the axes is inconstant.
NAP	Non-antipode – poles are not diametrically opposite.
REV	Reversals – Hundreds of magnetic pole reversals have occurred.
EXC	Excursion – magnetic axis temporarily aligned with the equator.

Table 1 - Evaluation of the Hypotheses by the Criteria

Table 2 shows the summary survey of the criteria met by each of the hypotheses raised to justify the presence and behavior of the geomagnetic field.

TABLE 2 - SUMMARY OF HYPOTHESIS ANALYSIS

ITEM	HYPOTHESES TO JUSTIFY GEOMAGNETISM	HYPOTHESIS ANALYSIS *				
		PSC	PSD	NPC	NPD	NCD
4.1	Natural Magnets in the Earth's Crust	☐	☑	☐	☐	☐
4.2	Natural Magnets in the Earth's Solid Core	☐	☑	☐	☐	☐
4.3	Water Present on the Planet	☐	☑	☐	☐	☐
4.4	Water in Rotation Movement	☐	☑	☐	☐	☐
4.5	Natural Dynamo in the Fusing Nucleus	☐	☐	☑	☐	☐
4.6	Relative motion between core and crust	☐	☐	☑	☐	☐
4.7	Rotational Motion of the Incandescent Solid Inner Core	☐	☐	☐	☐	☑
4.8	Turbulent Movement of the Fusing Nucleus	☐	☐	☐	☐	☑
4.9	External Plasmatic Belt to the Planet	☐	☑	☐	☐	☐
4.10	Electric Current in the Core that Arose in Creation	☐	☑	☐	☐	☐
4.11	Metals Rotating in the Crust	☐	☑	☐	☐	☐
4.12	Flux Metals Rotating in the Core	☐	☐	☐	☐	☑
*PSC	Can Be Confirmed					
PSD	Can Be Discarded					
NPC	Cannot Be Confirmed					
NPD	Cannot Be Dismissed					
NCD	It Cannot Be Confirmed nor Discarded					

Table 2 - Table 2 - Summary of Hypothesis Analysis

6 I CONCLUSIONS

Planet Earth was formed together with most of the bodies of the Solar System, in a single instant, from a great explosion and such a hypothesis constitutes acceptance notoriety. From this explosion, the bodies received kinetic energy, in the form of an impulse, which implied rotation and translation movements, among other transitory oscillations. Due to the dimensions, the planets were molded in the shape approximately spherical, by gravitational action and the imposed rotation. Evidently, the rotational movements received by the celestial bodies were unidirectional for their entire mass, although asynchronously, as they were constituted, initially, by liquid and gaseous parts.

There is no reason to consider the hypothesis that the cores of the planets had a direction or sense of rotation originally different from the main bodies, since the alignment of the axes of rotation constitutes the most stable form. That is, the Earth originally had unidirectional rotation for all mass, solid and liquid. Earth's solid, glowing core floats on a liquid core and rotates inertial and asynchronously with the planet. Such a core, solid and floating, has received impulses of kinetic energy from asteroids that collide with the Earth and grant them transient oscillations and even reversals in the axis of rotation, depending on the magnitude of the impact. The impacts received by the planet Earth by the craters left on the surface are verified, which have already been cataloged in approximately 200

in the last 2000 Ma, with diameters of up to 160 km[28]. It was verified, without an incessant search on the surface of the Planet Earth, that in 135 reversals, in the last 160 Ma, the normal polarity, like the current one, was present in 67% of the time[29] and that precisely in the periods of smaller frequency of impacts the polarity remained more stable, as shown in **Figure 2**.

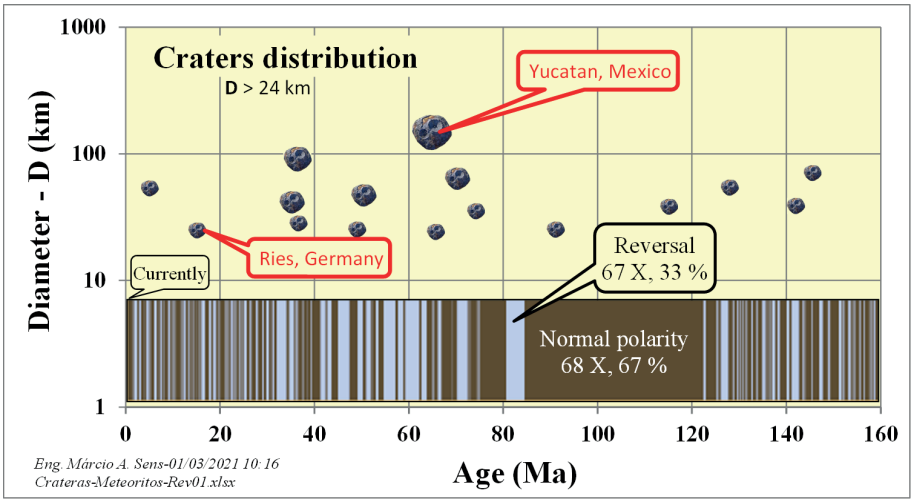


Figure 2 - Correlation of Geomagnetic Reversals with Asteroid Impacts

The hypothesis that geomagnetic reversals are associated with the impacts of extraterrestrial bodies with Planet Earth is not new and was raised in 1996 by Müller[30]. However, the justifications for the foundation of the hypothesis are fanciful and even hilarious. Explanations of how the geomagnetic field would have been neutralized by a large impact, then born again in opposite directions, in the “geodynamo” system, without a fixed remanent magnetic field on the Planet do not seem convincing.

The Earth rotates counterclockwise if viewed from the geographic North Pole, or Arctic Pole.

Geomagnetism probably originates from the rotation of the solid and hot core of the Earth. In this way, the generation of the magnetic field occurs without the energy dissipation predicted in previous hypotheses, where the magnetic field would be generated by electric currents through the liquid core. In this case, there is no reaction or braking torque of the supposed geodynamo.

The Earth’s solid inner core is floating in the liquid core, like the yolk floating in the white of an egg. However, the inner core of the Earth is not attached to the Planet, as in the case of the egg yolk, which is attached to the inner membrane of the shell through a cord called chalaza. An egg yolk, although it can rotate on its axis, cannot topple over and reverse poles relative to the shell. The inner core of the Earth, on the other hand, can topple over and invert its polar position, without stopping and without, in fact, reversing

the direction of rotation with respect to its own axis. The Earth's solid core can wobble in all directions and have the axis of rotation in alignment with the Earth's axis. Nothing prevents the Earth's solid core from being, for some time, off-center, displaced downwards, towards Antarctica, as it actually is today. Although such oscillations may have fundamental periods of millions of years, they are not infinite and the tendency, with damping, is that they cease over time and that the solid core remains in a condition of greater stability, that is, in alignment and in centralization with the axis of rotation of the Planet. As the magnetic field at the Antarctic pole is superior to that of the Arctic by 10 μT, the inner core, solid, must be outside the Earth's center, and be displaced towards Antarctica by approximately 320 km.

As it is detected, by superficial measurements of almost 400 years, that the geomagnetic field has been falling over time[25],[31],[32], it is suggested that such behavior is due to two reasons – the decay of the rotation of the solid core and its temperature decay.

REFERENCES

[1] Larmor, Joseph (1919). "Possible rotational origin of magnetic fields of sun and earth". *Electrical Review* **85**: 412ff. Reprinted in *Engineering*, vol. 108, pages 461ff (3 October 1919).

[2] Temperature of the Earth, http://ge.geglobalresearch.com/blog/the-packaging-challenges-of-high-temperature-electronics/, access on 01/12/2013.

[3] F. Keffer, Handbuch der Physik, 18, pt. 2, New York: Springer-Verlag, 1966 and P. Heller, Rep. Progr. Phys., 30, (pt II), 731 (1967)

[4] Keffer, F., Handbuch der Physik, 18, pt. 2, New York: Springer-Verlag, 1966 and P. Heller, Rep. Progr. Phys., 30, (pt II), 731 (1967), Ferromagnetic Curie Temperatures, http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/tables/curie.html#c1, access on 21/04/2014.

[5] http://myscienceacademy.org/2013/09/21/mystery-of-earths-spinning-core-solved/, de 21/09/2013.

[6] E. Dormy, J.P. Valet, V. Courtillot, Some reminders about the Earth magnetic field**,** http://lempel.pagesperso-orange.fr/magnetisme_terrestre_uk.htm, access on 18/04/2014.

[7] Merrill, Ronald T.; McElhinny, Michael W.; McFadden, Phillip L. (1996). *The magnetic field of the earth: Paleomagnetism, the core, and the deep mantle*. Academic Press. ISBN 978-0-12-491246-5.

[8] Young, S. Dynamo maker ready to roll. Nature 480, 162–163 (2011). https://doi.org/10.1038/480162a, http://www.nature.com/news/dynamo-maker-ready-to-roll-1.9582, 07 December 2011

[9] Summerfield, Mark, "The Anatomy of the Earth" 4/01/2013, page 26-27, localized on http://www.davidandkay.me.uk/s&t/anatomy.pdf, access on 18/04/2014.

[10] Anatomy of the Earth, How Stuff Works, at http://planet.infowars.com/activism/an-earth-core-photographed-in-space, access on 18/04/2014.

[11] Columbia University , The Earths inner core spins, http://www.columbia.edu/cu/record/archives/vol22/vol22_iss1/Core_Spin.html.

[12] Phillips, Tony, A schematic diagram of Earth´s interior. The outer core is the source of the geomagnetic field., http://www.nasa.gov/vision/earth/lookingatearth/29dec_magneticfield.html, access on 18/04/2014.

[13] A.R.T. Jonkers, *Earth´s Magnetism in the Age of Sail*, (Baltimore and London: Johns Hopkins University Press, 2003)

[14] Alan Cook, *Edmond Halley: Charting the Heavens and the Seas*, (Oxford, Clarendon Press, 1998)

[15] Angus Armitage, *Edmond Halley*, (London and Edingurgh: Thomas Nelson, 1966)

[16] Colin Ronan, *Edmond Halley: Genius in Eclipse*, (London: MacDonald, 1969)

[17] Julie Wakefield, *Halley´s Quest*, (Washington, D.C.: Joseph Henry Press, 2005)

[18] Nelson, Thomas, http://www.ieeeghn.org/wiki/index.php/Geomagnetism_and_Edmond_Halley_%281656-1742%29, 1966, access on 21/04/2014.

[19] Xiaodong Song and Paul G. Richards, seismologists at Lamont-Doherty, Columbia´s earth sciences research institute in Palisades, N.Y. Dr. Song is the Storke-Doherty Lecturer and Dr. Richards the Mellon Professor of Natural Sciences at Columbia.

[20] Zolfagharifard, Ellie ,17:42 BST, 17 September 2013, The Earths inner core spins, http://www.dailymail.co.uk/sciencetech/article-2423629/Earths-inner-core-spins-eastward-direction-faster-rate-planets-surface.html.

[21] Philip W. Livermore et al. Electromagnetically driven westward drift and inner-core superrotation in Earth's core. PNAS, published online September 16, 2013; doi: 10.1073/pnas.1307825110, http://www.sci-news.com/othersciences/geophysics/science-earth-inner-core-01388.html, 17/09/2013.

[22] National Geographic, Swirling stream of iron, http://news.nationalgeographic.com/news/2008/06/080630-earth-core_2.html, acesso em 13/12/2013.

[23] Tufts University, Convection inside the Earth the fluid outer core probably generates and maintains the Earth´s magnetic Field, http://ase.tufts.edu/cosmos/print_images.asp?id=4, on 01/01/2014.

[24] Bozcko, R. - IAG – USP, Declinação Magnética, 15/10/1999 – Updated on 04/23/2006 – Class presentation, São Paulo – SP.

[25] Barnes, Thomas G. "Origem e destino do campo magnético terrestre", USA, 1983, [traduced by Daniela Simonini Teixeira], Brasília: Sociedade Criacionista Brasileira, 2010, CD-ROM ; 4 ¾, http://www.ipfb.org.br/ita/wp-content/uploads/2011/10/Origem_e_Destino_Campo_Magnetico_Terrestre.pdf

[26] Cooper Layne, John Rogers, The Core - Fiction Film, released in 2002 – USA, released in Brazil on 4/4/2003, where it mentions: "Hot metal spinning fast creates electromagnetic field" – Elementary Physics", in the time of 25m12s to 25m24s.

[27] Cary Forest, from Physics Department - Madison, WI 53706-1390, experimental geodynamo hypothesis, http://www.news.wisc.edu/newsphotos/geodynamo.html http://www.nature.com/news/dynamo-maker-ready-to-roll-1.9582

[28] PASSC, Earth Impact Database: Planetary and Space Science Centre - University of New Brunswick - Canada http://www.passc.net/EarthImpactDatabase/New%20website_05-2018/Agesort.html, 05/02/2021.

[29] Tyson, Peter, Chronology of geomagnetic changes, When Compasses Point South, NOVA Science Trust http://www.pbs.org/wgbh/nova/magnetic/timeline.html, access on 13/12/2013.

[30] Richard A. Müller and Donald E. Morris – "Geomagnetic reversals from impacts on the Earth" First published: November 1986, https://doi.org/10.1029/GL013i011p01177, 8/2/2021.

[31] A. C. Fraser-Smith, "Centered and Eccentric Geomagnetic Dipoles and Their Poles, 1600—1985", VOL. 25, NO. 1, PAGES 1-16, Table 2, pag. 5 - February 1987.

[32] McDonald, K. L., and Gunst, R. H., 1967, "An analysis of the earth's magnetic field from 1835 to 1965", ESSA Tech. Rep. IER 46-IES 1, U.S. Department of Commerce, Table 3, pag. 15 - Boulder, Colorado-USA, July 1967.

M.A.Sens – 15/08/2023

K:\Particular\Public-Sens\ATENA-Editora-2023\Atena-2023-AnaliseCritica-das-teorias-sobre-as-Origens do Geomagnetismo-Rev04-4133p.doc

CAPÍTULO 3

MAPAS COGNITIVOS FUZZY PARA AVALIAÇÃO DO RENDIMENTO DE FONTES ENERGÉTICAS MUNDIAIS, COM FOCO NO BRASIL

Data de aceite: 01/12/2023

Márcio Mendonça
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
PPGEM-CP - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica PP/CP
Cornélio Procópio - PR
http://lattes.cnpq.br/5415046018018708

Janaína Fracaro de Souza Gonçalves
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
PPGEM-CP - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica PP/CP
Cornélio Procópio - PR
http://lattes.cnpq.br/1857241899832038

Marcio Jacometti
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Departamento acadêmico das ciências humanas e sociais aplicadas (DACHS)
Cornélio Procópio - PR
http://lattes.cnpq.br/8509336134084374

Guilherme Cyrino Geromel
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo – IFSP
Piracicaba - SP
http://lattes.cnpq.br/7535398878830738

Kazuyochi Ota Junior
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Mestre - PPGEM-CP - Programa de Pós-Graduação Multicampi em Engenharia Mecânica
Cornélio Procópio - PR
http://lattes.cnpq.br/3845751794448092

Ronie Ribeiro Camargo
Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza
Etec 066 - Jacinto Ferreira de Sá
Ourinhos – SP
http://lattes.cnpq.br/6299821609134231

Gabriel Henrique Oliveira Uliam
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Egresso - Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza
Departamento Acadêmico de Engenharia Elétrica (DAELE)
Cornélio Procópio - PR
http://lattes.cnpq.br/9917773125320806

Luiz Francisco Sanches Buzzacchero
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Departamento Acadêmico de Engenharia Elétrica (DAELE)
Cornélio Procópio - PR
http://lattes.cnpq.br/1747856636744006

Edinei Aparecido Furquim dos Santos
Governo do Paraná Secretaria de estado da Fazenda
Maringá – PR
http://lattes.cnpq.br/8706436030621473

João Maurício Hypólito
Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza
Departamento Computação-FATEC
Ourinhos – SP
http://lattes.cnpq.br/5499911577564060

Andressa Haiduk
Dimension Engenharia
Ponta Grossa - PR
http://lattes.cnpq.br/2786786167224165

Marcos Antônio de Matos Laia
Universidade Federal de São Joao Del Rei
Departamento De Ciência Da Computação – UFSJ
São Joao Del Rei - PR
http://lattes.cnpq.br/7114274011978868

Angelo Feracin Neto
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Departamento Acadêmico de Engenharia Elétrica (DAELE)
Cornélio Procópio - PR
http://lattes.cnpq.br/0580089660443472

Fabio Rodrigo Milanez
Faculdade da Industria Senai
Londrina – PR
http://lattes.cnpq.br/3808981195212391

Vicente de Lima Gongora
Faculdade da Industria Senai
Londrina – PR
http://lattes.cnpq.br/6784595388183195

Michelle Eliza Casagrande Rocha
Egresso Universidade Norte do Paraná – Unopar – Kroton
Londrina - PR
http://lattes.cnpq.br/4411484670091641

RESUMO: A geração de energia elétrica no Brasil e suas fontes potenciais foram analisadas usando mapas cognitivos fuzzy, uma técnica de inteligência artificial. O foco foi avaliar a viabilidade dessas fontes com base em custo-benefício, impacto ambiental e disponibilidade. As fontes renováveis, como hidroeletricidade e solar, destacaram-se em custo-benefício

e impacto ambiental, mas enfrentam desafios de disponibilidade em certas regiões. A abordagem utilizada fornece uma visão integrada, útil para decisões sobre a transição energética no país, abrindo espaço para futuras investigações neste campo.
PALAVRAS-CHAVE: Geração de Energia Elétrica, Mapas Cognitivos Fuzzy, Análise quantitativa.

FUZZY COGNITIVE MAPS APPLIED IN THE EFFICIENCY OF DIFFERENT WORLD ENERGY SOURCES, SPECIALLY FOR BRAZIL

ABSTRACT: The generation of electric power in Brazil and its potential sources were analyzed using fuzzy cognitive maps, an artificial intelligence technique. The focus was to evaluate the viability of these sources based on cost-benefit, environmental impact, and availability. Renewable sources, such as hydroelectricity and solar, stood out in terms of cost-benefit and environmental impact, but face availability challenges in certain regions. The approach used provides an integrated view, useful for decisions regarding the energy transition in the country, paving the way for future research in this field.
KEYWORDS: Electric Power Generation, Fuzzy Cognitive Maps, Quantitative Analysis.

INTRODUÇÃO

Em tempos de indústria 4.0, Internet das coisas, sistemas computacionais inteligentes em robôs com habilidades similares a seres humanos, exploração em outros planetas como Marte, praticamente todas as atividades industriais, comerciais e residenciais dependem da energia elétrica (MENDONÇA *et al.*, 2019).

À medida que a humanidade torna-se mais dependente desse insumo surgem questões como: a maneira que produzimos energia é realmente a mais eficiente? Teremos energia para todos no futuro? Instituições como a Agência Internacional de Energia (AIE), a Administração de Informações sobre Energia (EIA) dos EUA e a Agência Ambiental Européia (EEA) registram e publicam dados de energia periodicamente (BP STATISTICAL REVIEW OF WORLD ENERGY, 2016).

Assim é possível ter uma base de quanta energia elétrica está sendo produzida e consumida em escala mundial. Na figura 1 é mostrado o aumento do consumo de energia elétrica a nível mundial, a partir da década de 1960 até 2015.

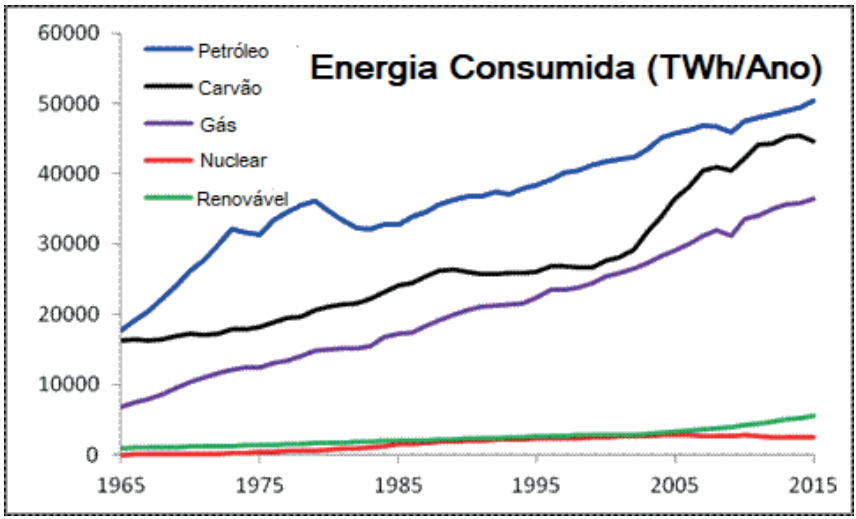


Figura 1: Aumento da energia consumida a nível mundial

Fonte: BP Statistical Review of World Energy (2016)

É evidente que a busca por fontes de energia renováveis e eficientes tornou-se uma das prioridades do cenário mundial. Com a crescente dependência de tecnologias que exigem energia elétrica e o potencial de catástrofes se houver uma interrupção substancial na oferta de energia, a pesquisa e desenvolvimento nessa área é imperativa.

A metodologia proposta para avaliar a viabilidade de diferentes fontes de energia utilizando Mapas Cognitivos Fuzzy (FCM) é interessante e promissora. O FCM pode ajudar a incorporar as nuances e inter-relações entre variáveis, o que é especialmente relevante para um campo tão complexo quanto a geração de energia.

Os critérios mencionados, custo de construção e instalação, energia produzida, impacto ambiental, custo de operação e confiabilidade, são vitais para uma avaliação completa. Compreender como cada fonte se compara em cada um desses critérios pode oferecer insights valiosos para decisões políticas e de investimento.

Os trabalhos citados também ressaltam a crescente importância da pesquisa nesta área. O trabalho de Samper e Rivera (2008) sobre a modelagem de custos usando abordagens fuzzy, e a pesquisa de Zhen Li (2011) sobre as emissões de carbono no Reino Unido, indicam o quão diversificados são os aspectos a serem considerados.

A contextualização brasileira apresenta um desafio e uma oportunidade únicos, especialmente com a crescente demanda de veículos elétricos. O potencial do Brasil para geração de energia limpa, como você mencionou, especialmente a solar, é vasto e ainda amplamente inexplorado.

Em suma, a pesquisa proposta é relevante e tem o potencial de contribuir significativamente para o campo da geração de energia no Brasil e no mundo. Uma das

energias renováveis que vem ganhando destaque é a biomassa.

Biomassa é uma fonte de energia renovável e sustentável, que pode ser utilizada para gerar eletricidade, calor e transporte. É uma matéria-prima de baixo custo e rápido acesso, que armazena grande quantidade de energia, carbono, oxigênio e hidrogênio. A biomassa tem sido uma das energias renováveis em destaque, maiores detalhes são discorridos a seguir:

Os tipos de biomassa estão divididos em dois modos principais

- Biomassa de origem vegetal: inclui madeira, lenha, bagaço de cana-de-açúcar, resíduos agrícolas e florestais.
- Biomassa de origem animal: inclui esterco, resíduos de abatedouros e biogás.

Com expectativa de mercado livre de energia o trabalho de Tesla Micael *et al*. (2020), menciona os sistemas de negociação no mercado de energia que estão passando por uma rápida transformação devido à crescente demanda por fontes de energia renováveis, a serem integradas à rede elétrica, juntamente com as necessidades dinâmicas e em evolução dos futuros clientes de energia.

No atual sistema de comércio, que se baseia na mega geração, a energia é comercializada por meios inseguros de comunicação baseados na confiança mútua. Além disso, a eletricidade proveniente de fontes renováveis e não renováveis é misturada na rede, impedindo a capacidade dos clientes de rastrear definitivamente a fonte de energia despachada para suas instalações.

Este trabalho está organizado da seguinte forma: a seção 2 apresenta a metodologia utilizada. A seção 3 discorre fundamentos e conceitos sobre a ferramenta empregada, o FCM. Já a seção 4 discute os resultados encontrados. E finalmente, a conclusão encerra a pesquisa e apresenta futuros trabalhos.

METODOLOGIA

Para a análise foram escolhidas as principais fontes de produção de energia elétrica por todo o mundo. Essas fontes são: hidroelétrica, solar fotovoltaica, eólica, geotérmica, biomassa, gás natural, termoelétrica e a nuclear. Foram quantificados os valores presentes na tabela 1 (U.S. ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION, 2019) juntamente com uma série de outras informações complementares.

Escolhidas as fontes a serem analisadas foram então estabelecidos os critérios principais: custo de construção civil, estrutural, equipamentos, projeto e outros custos da concessionária elétrica (preço do dólar em 2018 por quilo watt); a energia média produzida por uma turbina do tipo de usina em Megawatts (MW); a poluição gerada por elas; o custo de operação e manutenção (preço do dólar em 2018 por megawatts hora)entre outros; e por fim a confiabilidade que as mesmas possuem no quesito de entrega de energia e danos colaterais ocasionados por possíveis catástrofes naturais.

Fontes	Construção (2018$/KW)	Energia Produzida (MW)	Poluição (gCO_2/kW_e)	Operação (2018$/MWh)	Confiabilidade
Hidroelétrica	2.948	500	4	1,36	Alta
Solar	1.783	150	46	0	Média
Eólica	1.624	100	12	0	Média
Geotérmica	2.787	50	45	0	Alta
Biomassa	3.642	50	18	5,7	Alta
Gás Natural	2.205	340	469	7,34	Alta
Termoelétrica	5.169	650	1001	7,31	Alta
Nuclear	6.034	2.234	16	2,37	Alta/Perigosa

Tabela 1: Critério principais para avaliação das usinas elétricas(média)

MAPAS COGNITIVOS FUZZY

Em 1986, Bart Kosko introduziu os Fuzzy Cognitive Maps (FCM) como uma subclasse das Redes Neurais Artificiais (RNA) que retratam o conhecimento simbolicamente, com foco em causas e efeitos. Eles têm vantagens sobre as RNA, incluindo a facilidade de representar estruturas de conhecimento (KOSKO, 1986; NDOUSSEE OKUDA, 1996; PARSOPOULOS et al., 2003). FCMs são usados para modelar sistemas dinâmicos, destacando-se por sua transparência, simplicidade e adaptabilidade (MENDONÇA et al., 2013; PAPAGEORGIOU, 2014).

A construção desses modelos pode ser manual, baseada em especialistas, ou a partir de dados históricos, como demonstrado por YESIL et al. (2013) e MAZZUTO et al. (2018). Os FCM representam variáveis e relações causais, e embora possam resultar em modelos complexos, são valiosos para inferir decisões em ambientes incertos (KOSKO, 1986). Estão sendo aplicados em áreas como indústria, logística e medicina (MAZZUTO et al., 2018). Eles utilizam certas equações chave para representar relações de inferência.

$$f(x_i) = f_c\left(\sum_{j=1}^{n} \quad w_j X x_j\right) \tag{1}$$

$$\boldsymbol{f_c} = \frac{\mathbf{1}}{\mathbf{1}-\boldsymbol{e}^{-\boldsymbol{u}}} \tag{2}$$

Conceitos	Descrição
C1	Rendimento Efetivo da Usina Estudada
C2	Custo Total Construção da Usina
C3	Energia Elétrica Produzida
C4	Impacto Ambiental Causado pela Construção e Funcionamento
C5	Custos de Operação e Manutenção da Usina
C6	Confiabilidade
C7	Localização Geográfica (Média)
C8	Vida Útil da Usina seus Componentes Essenciais
C9	Capacidade de Abastecimento (Situações Críticas)
C10	Tecnologia Desenvolvida na Área
C11	Opinião Pública sobre Usina
C12	Demanda Média Solicitada

Tabela 2: Descrição dos conceitos do FCM.

Fonte: Autoria própria(2020).

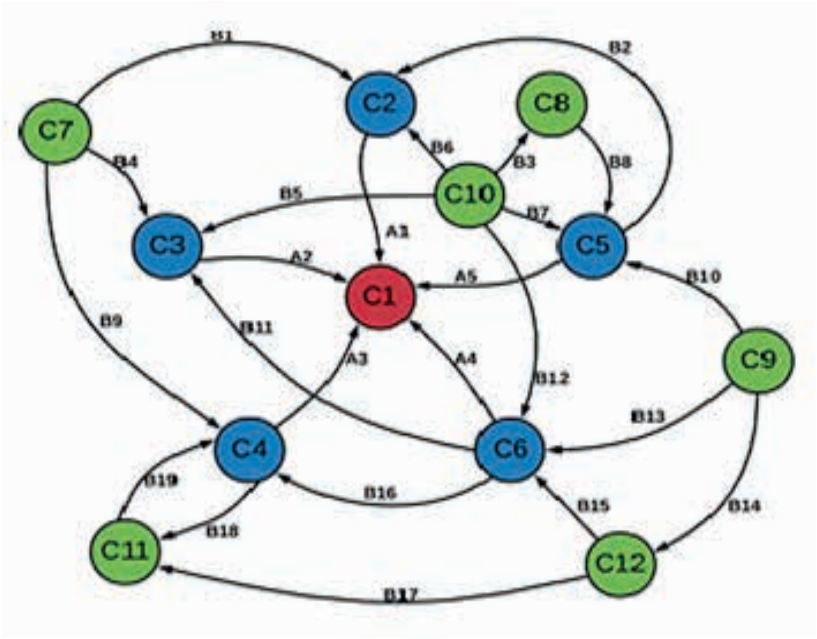


Figura 2: FCM desenvolvido a partir dos conceitos estabelecidos na tabela 2

Na figura 2 é mostrado o FCM desenvolvido, onde C1 é o *output* das relações causais,o rendimento efetivo da determinada usina. O FCM da figura 3 contém os valores de suas relações causais como variáveis, pois cada tipo de fonte energética possui pesos diferentes nas mesmas. Sendo que os conceitos C7, C9, C12 dependem da situação específica de cada usina.

Para fins demonstrativos foram estipulados pesos genéricos médios com ointuito

de desenvolver um FCM genérico, uma vez que estudar cada caso particular das inúmeras usinas existentes está fora do alcance desta pesquisa. Os pesos provenientes do conceito C10 foram mensurados com base no Fator de Otimismo Tecnológico (*U.S.ENERGYINFORMATION ADMINISTRATION*,2019).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com base nas relações causais do FCM foi desenvolvida a tabela 3, na qual os valores de cada relação foram estimados com base nos dados da tabela 1 e mais uma série de pesquisas para opiniões dos especialistas supracitados no resumo do trabalho.

Peso	Hidroelétrica	Solar	Eólica	Geotérmica	Gás Natural	Biomassa	Termoelétrica	Nuclear
A1	-0,45	-0,3	-0,25	-0,4	-0,35	-0,55	-0,7	-0,8
A2	0,65	0,35	0,3	0,25	0,5	0,25	0,75	1
A3	-0,15	-0,2	-0,1	-0,2	-0,45	-0,15	-0,8	-0,2
A4	0,9	0,7	0,7	0,9	0,9	0,9	0,9	0,5
A5	-0,2	-0,05	-0,05	-0,05	-0,65	-0,5	-0,65	-0,3
B1	0,4	0,1	0,15	0,5	0,3	0,15	0,2	0,5
B2	0,05	0,05	0,05	0,05	0,15	0,1	0,15	0,15
B3	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,5	0,65	0,7
B4	0,5	0,35	0,7	0,4	0,4	0,1	0,1	0,1
B5	0,5	0,5	0,55	0,5	0,6	0,5	0,65	0,7
B6	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,6	-0,5	-0,65	-0,7
B7	-0,25	-0,25	-025	-0,25	-0,3	-0,25	-0,3	-0,35
B8	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,35	0,35	0,35
B9	0,2	0,1	0,15	0,15	0,3	0,3	0,4	0,5
B10	0,1	0,1	0,1	0,1	0,35	0,3	0,4	0,45
B11	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
B12	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,5	0,65	0,7
B13	0,3	0,35	0,3	0,3	0,1	0,1	0,1	0,1
B14	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,4	-0,25	-0,6	-0,85
B15	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4
B16	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,4	-0,45	-0,2	-0,1
B17	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3
B18	0,3	0,2	0,2	0,2	0,4	0,3	0,55	0,7
B19	0,15	0,1	0,1	0,1	0,25	0,2	0,4	0,5

Tabela 3: Valor dos pesos do FCM das diferentes fontes energéticas.

A figura 4 corresponde ao C1, o rendimento da usina hidroelétrica. Também foram gerados os gráficos para as outras fontes: figuras 5, 6, 7, 8, 9, 10 e 11.

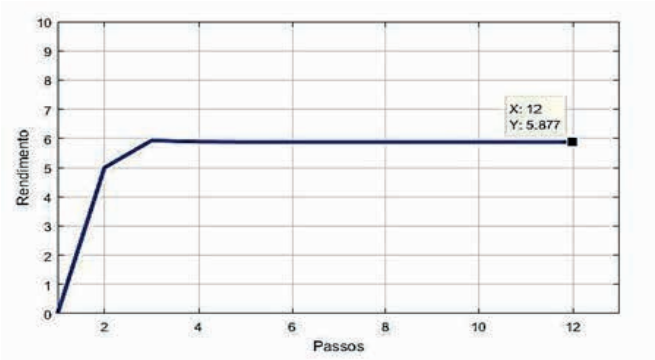


Figura 3: Rendimento para energia hidroelétrica

É possível observar que para energia hidroelétrica, a curva teve comportamento crescente até um valor de rendimento próximo a 6 e, em seguida, se manteve praticamente constante em 5,877.

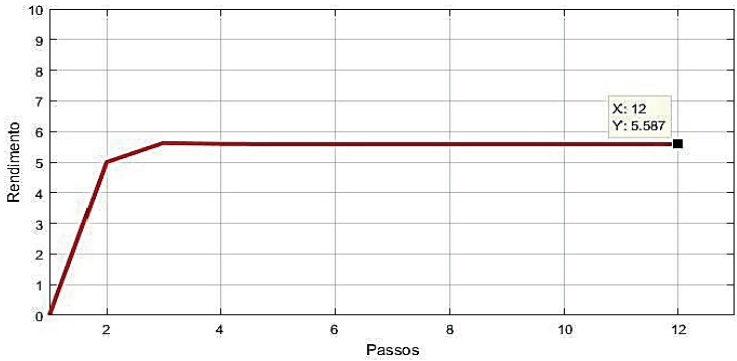


Figura 4: Rendimento para energia solar.

A curva para o rendimento da energia solar se mostrou muito similar ao da energia hidroelétrica, porém seus valores se mantiveram sempre um pouco inferiores, se fixando em 5,587 ao final de 12 passos.

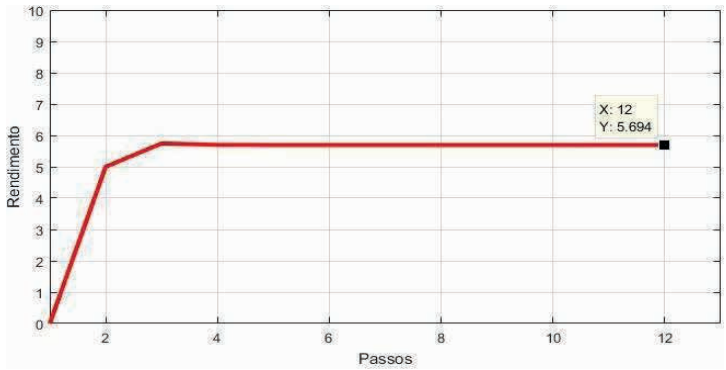


Figura 5: Rendimento para energia eólica.

A curva do gráfico para a energia eólica também se assimilou ao das energias hidrelétrica e solar. Seu rendimento ao final dos 12 passos foi maior que o da energia solar e menor que o da energia hidroelétrica, com valor de 5,694.

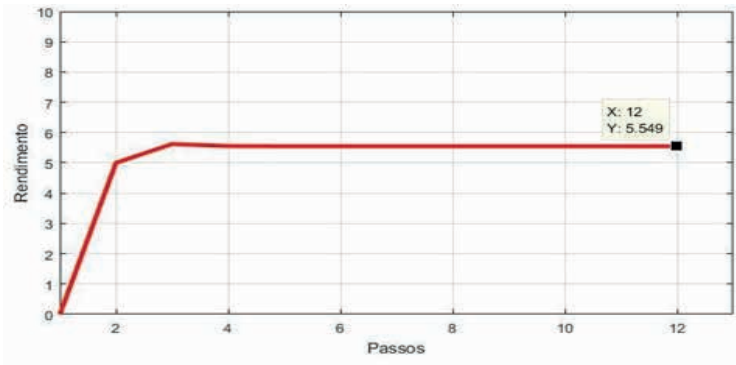


Figura 6: Rendimento para energia geotérmica

Para a energia geotérmica, a curva de rendimento também se assimilou às curvas anteriores, mas com relação aos valores de rendimento ao final dos 12 passos esse tipo de energia obteve valor menor que os apresentados anteriormente, com 5,549.

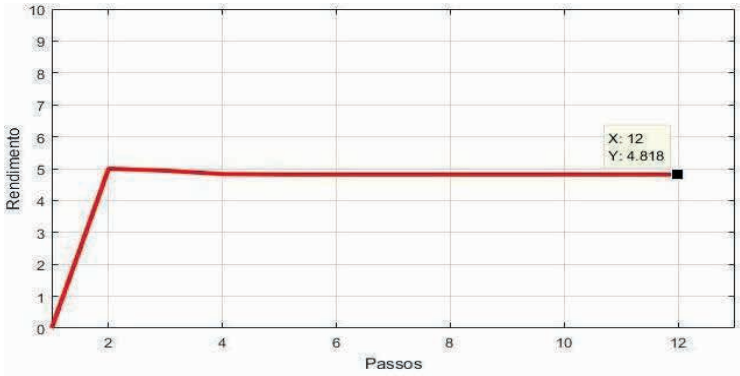


Figura 7: Rendimento para energia do gás natural.

Quanto ao gráfico de rendimento do gás natural, a curva se apresentou com formato diferente das demais apresentadas anteriormente.

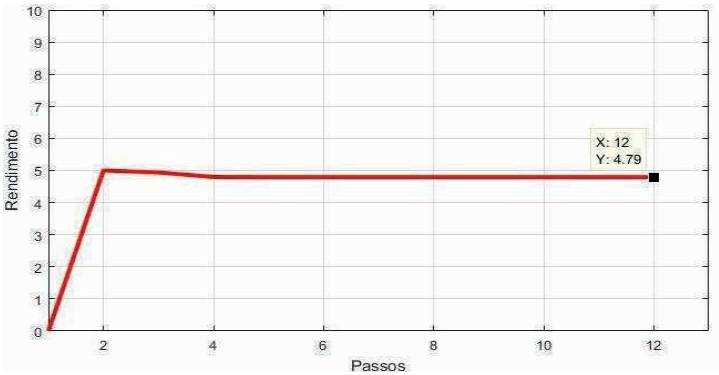


Figura 8: Rendimento para energia da biomassa.

No gráfico da biomassa a curva se mostra com o mesmo comportamento da curva do gás natural. E seu valor de rendimento ao final de 12 passos foi de 4,79.

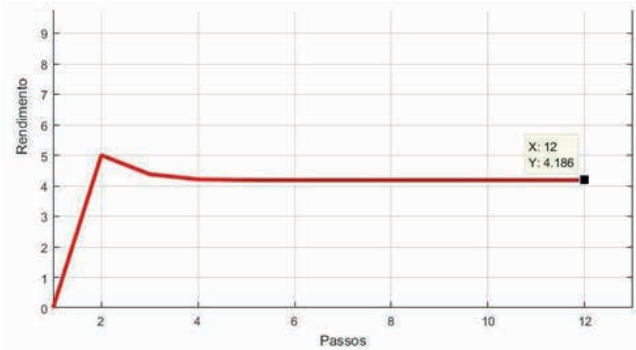


Figura 9: Rendimento para energia da termelétrica.

A curva para o rendimento da termoelétrica apresentou uma característica bem particular, o decrescimento de um rendimento próximo a 5 para 4,186. Sendo este o menor rendimento apresentado com relação às outras energias.

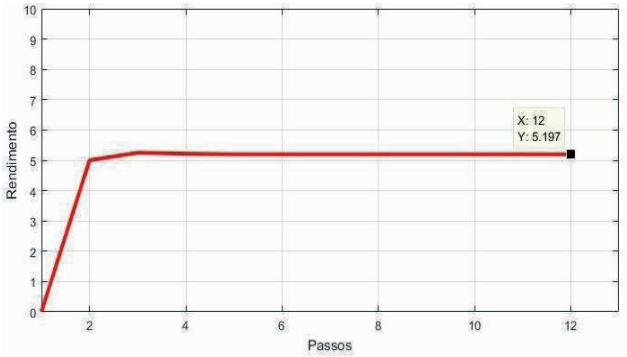


Figura 10: Rendimento para energia nuclear.

O gráfico da energia nuclear mostra que o rendimento ao final de 12 passos foi de 5,197. Os valores de rendimento foram extraídos e comparados na figura 12. Com isso, é possível constatar que a fonte que mostrou ter maior eficiência foi a hidroelétrica.

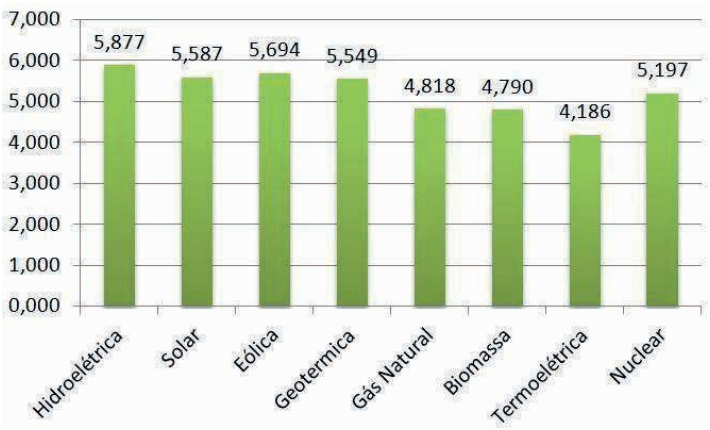


Figura 11: Eficiência das Usinas.

CONCLUSÕES

Os dados disponíveis destacam que as usinas hidrelétricas se sobressaem como líderes em eficiência no campo da geração de energia. Através das hidros turbinas, é possível converter energia com impressionantes taxas de 85-90% de eficiência. Esta alta performance, contudo, vem acompanhada de uma necessidade: vastas bacias hidrográficas. Tal exigência geográfica impõe restrições quanto aos locais adequados para a instalação dessas usinas, tornando algumas regiões inviáveis para esse tipo de empreendimento.

Com base nesse cenário, é imperativo que pesquisas futuras sejam direcionadas não apenas para o aperfeiçoamento dos modelos de simulação existentes, mas também para a incorporação de fatores adicionais que se mostrem relevantes. Estes, por sua vez, deverão ser detalhadamente estudados em suas interconexões causais, visando uma compreensão mais ampla e integrada dos sistemas. Mais do que nunca, torna-se necessário conduzir estudos específicos para as distintas regiões do país, levando em consideração suas particularidades geográficas, socioeconômicas e ambientais. Além disso, a validação rigorosa dos resultados obtidos em tais investigações é crucial para assegurar a confiabilidade e aplicabilidade das informações geradas.

REFERÊNCIAS

ANEEL.**NationalElectricalEnergyAgency**.Disponívelemhttp://www2.aneel.gov.br.Acessoem:28jul.2020

BP Statistical Review of World Energy. [S. l.: s. n.], 2016. Workbook (xlsx). Disponível em:https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy. html. Acessoem:19jun.2019.

TIBA,C.etal.**AtlasSolarimétricodoBrasil**:bancodedadossolarimétricos. Recife:Ed.Universitáriada UFPE,2000.

JETTER,A.;SCHWEINFORT,W.BuildingscenarioswithFuzzyCognitiveMaps: Anexploratorystudyofsolarenergy.**Futures**, v.43,n.1,p.52-66,2011.

KOSKO, B. et al. Fuzzy cognitive maps. **International journal of man-machine studies**, v.24, n.1,p.65-75,1986.

MARIZ,C.H.daC.NovasusinasnuclearesnoBrasil:Umanecessidadeparaodesenvolvimentodopaís. **AssociaçãoBrasileiradeEnergiaNuclear(Aben)**.2015.Disponívelem: http://www.aben.com.br/Arquivos/402/402.pdf.Acessoem: 06set.2020.

MAZZUTO, G. et al. Fuzzy Cognitive Maps designing through large dataset and experts'knowledge balancing. In: **2018 IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE)**.IEEE,2018.p.1-6.

MENDONÇA, M.etal.Adynamic fuzzy cognitive mapapplied to chemical process supervision. Engineering Applications of Artificial Intelligence, v. 26, n. 4, p. 1199-1210,2013.

MENDONÇA, M.et al.Semi-UnknownEnvironmentsExplorationInspiredbySwarmRobotics using Fuzzy Cognitive Maps. **IEEE International Conference on Fuzzy Systems(FUZZ-IEEE)**.2019.

NDOUSSE, T. D.; OKUDA, T. Computational intelligence for distributed fault management innetworksusingfuzzycognitivemaps.In:**ProceedingsofICC/SUPERCOMM'96-International ConferenceonCommunications**.IEEE,1996.p.1558-1562.

PAPAGEORGIOU, E. I. (Ed.). **Fuzzy cognitive maps for applied sciences and engi-neering: from fundamentals to extensions and learning algorithms.** Springer Science &Business Media,2013

PARSOPOULOS, K. E. et al. A first study of fuzzy cognitive maps learning using particleswarmoptimization.In:**he2003CongressonEvolutionaryComputation,2003.CEC'03.** IEEE,2003.p.1440-1447.

PAUSCHERT, D.**StudyofEquipmentPricesinthePowerSector.**Washington, D.C.20433,U.S.A.All:ESMAPTechnicalPaper122/09Study,2009.

PROEST.**PowerPlantConstructionCosts**.[*S.l.*],6ago.2018.Disponívelem:https://www.proest.com/power-plant-construction-costs/. Acessoem:22jun. 2019.

SAMPER, M. E.; VARGAS, A.; RIVERA, S. Fuzzy assessment of electricity generation costsapplied to distributed generation. Comparison with retail electricity supply costs. In: **2008IEEE/PES Transmission and Distribution Conference and Exposition: Latin America**.IEEE,2008.p.1-7.

SILVA,J.etal.Implementationofaphotovoltaicpaneltosupplyelectriccarsenergydemands. **BrazilianArchivesofBiologyandTechnology**.Vol.61,2018.

TESFAMICAEL, A. D. I et al. A Design for a Secure Energy Market Trading System in aNationalWholesale ElectricityMarket.**IEEEAccess**,2020.

U.S. ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION. Cost and Performance Characteristics ofNewGeneratingTechnologies,AnnualEnergyOutlook2019.**AnnualEnergyOutlook**2018,v.2019,n. January,p.1–3,2019.

W., P. B. et al.**ANNEX II-Methodol**. [s.l.] IPCC Special Report on Renewable EnergySources andClimateChangeMitigation,2011.

YESIL,E.etal.Fuzzy cognitive mapslearningusingartificialbeecolony optimization.In: **2013 IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE)**. IEEE, 2013. p.1-8.

ZHENG, Z.; LI, F. Assessment of carbon dioxide efficiencies for UK's electricity generation.In:**2011IEEE Power andEnergySocietyGeneralMeeting**.IEEE,2011.p.1-5.

CAPÍTULO 4

PISO DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

Data de aceite: 01/12/2023

Anderson Felipe Machado
Faculdade Uniamérica Descomplica
Foz do Iguaçu – Paraná

Rebeca Silva Costa
Faculdade Uniamérica Descomplica
Foz do Iguaçu – Paraná

Luís Henrique Chouay Dall'Agnese
Faculdade Uniamérica Descomplica
Foz do Iguaçu – Paraná
http://lattes.cnpq.br/1502220513099067

RESUMO: O artigo tem como objetivo apresentar as etapas de projeto, construção e testes de um protótipo de piso de geração de energia. O intuito do trabalho foi desenvolver um protótipo que a função do mesmo era gerar energia conforme o atrito do peso de um indivíduo em cima do material que representava o piso, a estrutura composta apenas por E.V.A e componentes eletrônicos, através desse projeto foi possível adquirir conhecimento referente a um componente eletrônico que pode ser utilizado para geração de energia, resultando em uma geração de energia sustentável com baixo custo de aquisição. Os resultados obtidos foram os esperados de acordo com as metas estabelecidas no início do projeto.

PALAVRAS-CHAVE: Piso, Geração de Energia, Componente Eletrônico.

ELECTRICAL ENERGY GENERATION FLOOR

ABSTRACT: The article aims to present the design, construction, and testing stages of a prototype energy generation floor. The objective of the work was to develop a prototype whose function was to generate energy according to the friction of an individual's weight on the material that represented the floor, a structure composed only of E.V.A and electronic components. Through this project it was possible to acquire knowledge regarding an electronic component that can be used to generate energy, resulting in sustainable energy generation with low acquisition costs. The results obtained were within expectations according to the goals established at the beginning of the project.

KEYWORDS: floor, generate energy, electronic component.

1 | INTRODUÇÃO

O efeito piezoelétrico foi descoberto em 1880 pelos irmãos Curie e utilizado em uma aplicação prática pela primeira vez por Paul Langevin no desenvolvimento de sonares durante a primeira guerra mundial. Langevin utilizou cristais de quartzo acoplados a massas metálicas (inventado o transdutor tipo Langevin) para gerar ultra-som na faixa de algumas dezenas de kHz's. Após a primeira guerra mundial, devido à dificuldade de se excitar transdutores construídos com cristais de quartzo por estes demandarem geradores de alta tensão, iniciou-se o desenvolvimento de materiais piezoelétricos sintéticos. Estes esforços levaram à descoberta e aperfeiçoamento nas décadas de 40 e 50, das cerâmicas piezoelétricas de Titanato de Bário pela então URSS e Japão, e das cerâmicas piezoelétricas de Titanato Zirconato de Chumbo (PZT's) pelos EUA [2,3] (PEREIRA, 2010).

O trabalho tem como finalidade construir um protótipo de piso utilizando pastilhas piezoelétrico, sendo que durante o desenvolvimento do protótipo serão realizadas análises para verificar quais circuitos elétricos obterão um melhor desempenho na geração de energia.

2 | OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste projeto é desenvolver um protótipo composto por pastilha piezoelétrico, esse componente principal do projeto tem como função transformar a energia mecânica em energia elétrica.

2.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos são: Construir um protótipo de piso em pequena escala composto por piezoeletrico com a função de demonstrar que é possível com poucos componentes e com uma determinada ligação do circuito transformar a energia mecânica em energia elétrica. Realizando algumas adaptações essa forma de geração de energia tem a possibilidade de ser utilizada com a finalidade de diminuir o valor de contas de energia elétrica, resultando em sistema sustentável, inovador e com um baixo custo de aquisição.

3 | METODOLOGIA

Para a realização do Projeto Integrador – Piso de Geração de Energia Elétrica, foi definido a estrutura física do protótipo com dimensão de 30 cm x 30 cm, sendo que o material utilizado na estrutura foi apenas o E.V.A.

Com relação ao circuito eletrônico do protótipo, ele foi montado conforme mostra a

Figura 1 a seguir.

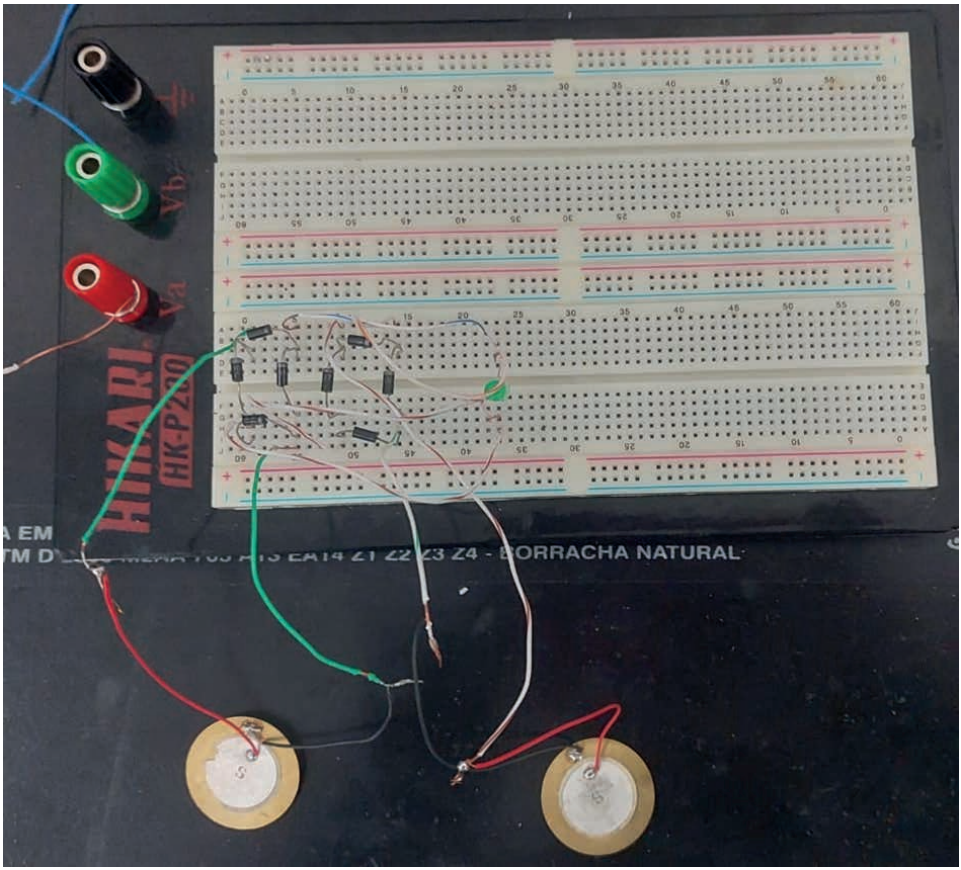


Figura 1 – Ligação do circuito do protótipo.

Fonte: Próprio Autor

Como é possível observar no circuito foram utilizados oito diodos que juntos formam duas pontes retificadoras, que tem como função transformar a tensão alternada dos dois piezoelétricos em tensão contínua.

É possível observar na Figura 2 que um componente piezelétrico ao ser comprimido ou expandido cria uma tensão elétrica, à qual tem valores alternados quando é pressionado e solto em seguida.

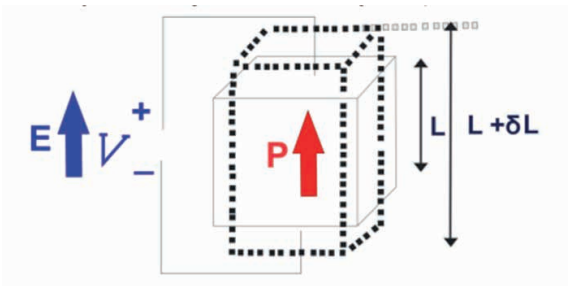


Figura 2 – Geração de Energia Elétrica em função da pressão P

Fonte: CARDOSO (2006)

Foi analisado na prática que conforme maior a pressão mecânica em cima do componente piezoelétrico maior é a tensão que ele gera, quando pressionado resulta em um pico positivo e no momento que para de ser realizada essa pressão resulta em um pico negativo. Através da medição com o multímetro foi observado que apenas um componente piezoelétrico gera uma tensão aproximada de 5 volts.

O componente piezoelétrico utilizado para a realização desse trabalho além de ter a membrana metálica e uma piezecerâmica possui também diâmetro de 35 mm de cobre e uma espessura de 3,36 mm mostrado na Figura 3.

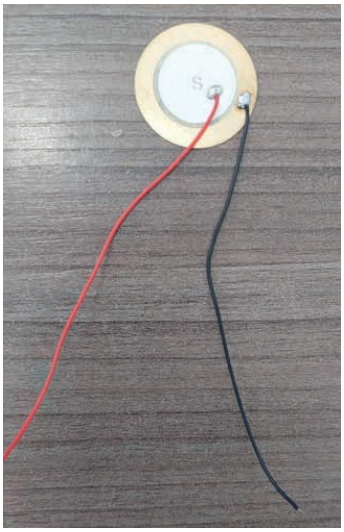


Figura 3 - Componente piezoelétrico utilizado no projeto

Fonte: Próprio Autor

4 I RESULTADO OBTIDO

O intuito do projeto foi alcançado, pois através da pressão mecânica realizada em cima do piezoelétrico resultava no acionamento da led, porém a led não era mantida ligada

constante, apenas piscava conforme era realizado o movimento de pressão em cima do piezoelétrico.

Abaixo segue o resultado do protótipo da bengala automatizada finalizada.

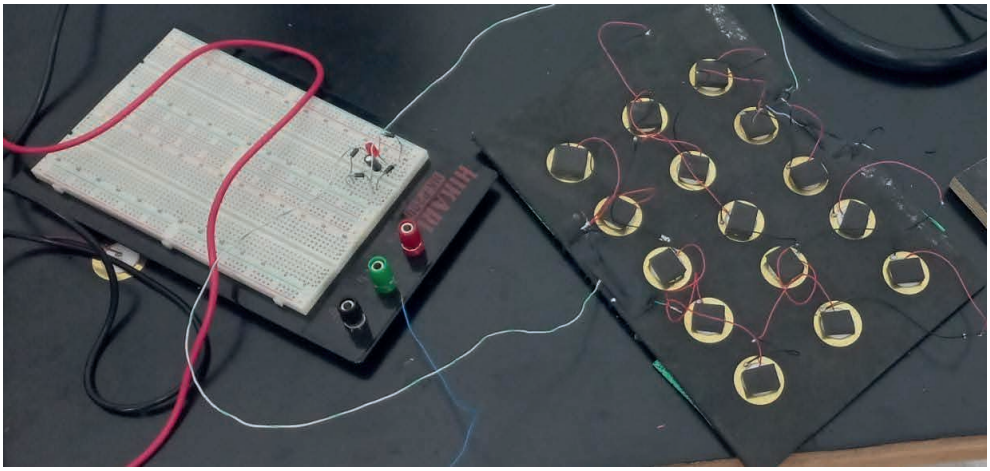


Figura 4 - Protótipo finalizado

Fonte: próprio autor

5 I CONCLUSSÃO

Com os resultados obtidos durante os testes práticos foi possível comprovar a eficaz do protótipo sendo de acordo com o esperado.

Através da elaboração deste projeto foi adquirido novos conhecimentos que podem ser aplicados durante a carreia acadêmica e durante a carreia profissional. A finalidade principal do projeto é promover, de tal maneira, uma geração limpa de energia, além do apoio ao uso de técnicas novas rumo à sustentabilidade energética.

REFERÊNCIAS

PEREIRA, Antônio. Cerâmicas piezoelétricas: funcionamento e propriedades. 2010.

CARDOSO, J. Sistema para Aproveitamento de Energia Vibracional Baseado em Transdutores Acústico Piezelétricos de Baixo Custo. 2006.

CAPÍTULO 5

VALIDATION OF EXPERIMENTAL RESULTS IN THE DETERMINATION OF THERMAL CONDUCTIVITY

Data de aceite: 01/12/2023

Márcio Antônio Sens
Universidade Federal Fluminense

ABSTRACT: A non-destructive experimental technique, by electrical measurements, was used to determine the thermal conductivity of volumetric samples and will be presented here. This technique involves applying heat pulses using electrical current to a resistive element and monitoring the temperature rise over time. For technique validation, experimental results of reference samples, such as water and ice, for liquids and solids, respectively, are presented. Experimental results of dielectric liquids used in electric power transformers are also presented, as well as a sample of sand used by the Electric Sector in the thermal dissipation of underground electric cables.

KEYWORDS: Thermal conductivity; measurement; validation; reference material.

1 I INTRODUCTION

Brazil has experienced a sudden and growing development in solar and wind power generation parks. Due to the origin of abundant wind resources and the abundant availability of flat sunny areas, such parks have been established, mainly, in the Northeast Region. For practicality and financial convenience, many of these installations have medium voltage insulated electrical cables of up to 34.5 kV laid directly on the sandy soil. On the other hand, these areas are still little explored and studied for such purposes, presenting themselves with materials of little-known thermal characteristics. Time and resources are not always found to check the environment where the electrical cables will be laid and, in fact, there have been premature failures due to overheating, either due to the low thermal conductivity of the surrounding environment, or due to the considerable accumulation of circuits, or density of cables in the same narrow trench.

This work will describe the experimental techniques used for soil thermal conductivity surveys, without sophisticated or specific equipment for this purpose. To validate the experimental technique, well-studied reference samples

are used, such as water and ice, with the use of linear regression and student statistical distribution, for the evaluation of dispersion in the quality of the result of the determined magnitude. It also presents the results found for the thermal conductivity of a set of solid and liquid samples used by the Electric Sector, including magnetic nanofluids.

It is noteworthy that this technique broke a myth that insulating mineral oil with magnetic nanoparticles could exhibit greater dissipation capacity in electrical transformers[1].

This publication will deal with an experimental technique to validate the experimental determinations of the physical quantity called thermal conductivity. The technique is fast and non-destructive. Samples can be reassessed several times to perform averages and display results.

2 I PURPOSE AND APPLICATION OF THERMAL CONDUCTIVITY IN THE ELECTRICAL SECTOR

Electrical cables for transmission and distribution of electrical energy, with the exception of superconductors, heat up with the passage of electric current through metals, such as copper and aluminum. Such cables made up of several layers of electrical insulation and shielding, form barriers for the transfer of heat to the environment which, in the case of underground installations, are made up of sand and gravel, or rolled pebbles, in the North region. Knowledge of the thermal dissipation characteristics of the medium that surrounds such electrical cables is a fundamental basis for sizing them. The lack of such specific knowledge and the use of typical values have led to occurrences of collapses in important underground installations for the transmission and distribution of electrical energy. Thus, efforts are justified in the previous knowledge of the thermal conductivity of the materials to be involved in the thermal dissipation and, mainly, in the reliability of such parameters.

3 I ABOUT THE REASONS THAT MOTIVATED THE RESEARCH

Studies and efforts to improve the reliability of the evaluation of the thermal conductivity of the materials that involve the electrical cables of underground installations are highly justifiable, considering their costs and generation losses, for example, from wind and/or solar parks caused for faults. Repairs or replacement of a buried cable or set of cables laid directly into the ground takes a long time. Often, other cables are installed and the damaged ones are abandoned to speed up the plant's return to normal operating conditions. The present study constitutes a warning to electrical cable designers and installers that the initial cost of analyzing the materials is fully justifiable, considering the costs and possibilities of future losses.

4 | FUNDAMENTAL CONCEPTS

The transient hot-wire method is also known as the THW method. The THW method is a transient dynamic technique that measures the temperature rise of a linear heat source (hot wire) embedded in the tested material[2],[3] and[4]. For an infinitely long metallic wire (length/radius ratio 200 or more) heated at time t > 0 with a constant heat flux per unit length Q and immersed in an infinite homogeneous medium (thermal conductivity and diffusivity: λ and α, respectively.) with uniform initial temperature, the temperature rise ΔT(t) of the wire is given by Equation (1)[5]:

$$\Delta T(t) = \left[\frac{Q}{4 \cdot \pi \cdot \lambda}\right] \cdot \ell n\left(\frac{4 \cdot Fo}{C}\right) \qquad \text{Equation (1)}$$

where $C = e^{\gamma} = 1.781$; γ is Euler's constant (γ = 0.5772) and Fo is the Fourier number defined by

$$Fo = \frac{\alpha \cdot t}{r_o^2}. \qquad \text{Equation (2)}$$

Equation (1) is the analytical solution of an ideal thermal conductor model valid for Fo >>1 and without convective transfers[6],[7],[8],[2] and[9].

From this ideal model and with known Q values, the thermal conductivity can be calculated by:

$$\lambda = \left(\frac{Q}{4 \cdot \pi}\right) \cdot \left[\frac{dT}{d(\ell n\, t)}\right]^{-1}, \qquad \text{Equation (3)}$$

where dT/d(ln t) is a numerical constant deduced from experimental data for values of t satisfying the condition Fo >>1.

For practical applications of the THW method, the dimensions of the sample of wire and material, among other hypotheses of the ideal model, are finite and the deviations from the ideal model must then be evaluated. Depending on the metallic material used for the construction of the resistive heating element, the variation of its resistance with temperature can be disregarded, since in these tests the temperature variation must not exceed 3 K. Metallic materials, such as constantan, have a coefficient of change in electrical resistance with temperature low enough for these purposes.

In fact, the response to heating the wire ΔT(t) resulting from the Joule effect due to an electric current I, where the power dissipated per unit length will be $Q = I^2 . R$, where I is in amps and R is in ohms/meter, as per standard recommendation[11]:

$$\lambda = \frac{Q}{4 \cdot \pi \cdot \left\{\frac{(\Delta T_2 - \Delta T_1)}{\ell n(t_2 / t_1)}\right\}} = \frac{Q}{4 \cdot \pi \cdot \tau} \qquad \text{Equation (4)}$$

where λ is the thermal conductivity {W/(m.K)}, Q = Heating element power (W/m) and

τ is a numerical parameter deduced from the experimental data of the logarithmic regression of the temperature rise ΔT(t) curve.

5 I LITERATURE SURVEY

Regarding the technique for determining the volumetric thermal conductivity of reference materials, such as liquids and sand, or soil, there are technical standards and abundant literature presenting automatic instrumentation. As reference materials, properly speaking, there is also abundant literature on the thermal conductivity of water[12], as graphically shown in Figure 1.

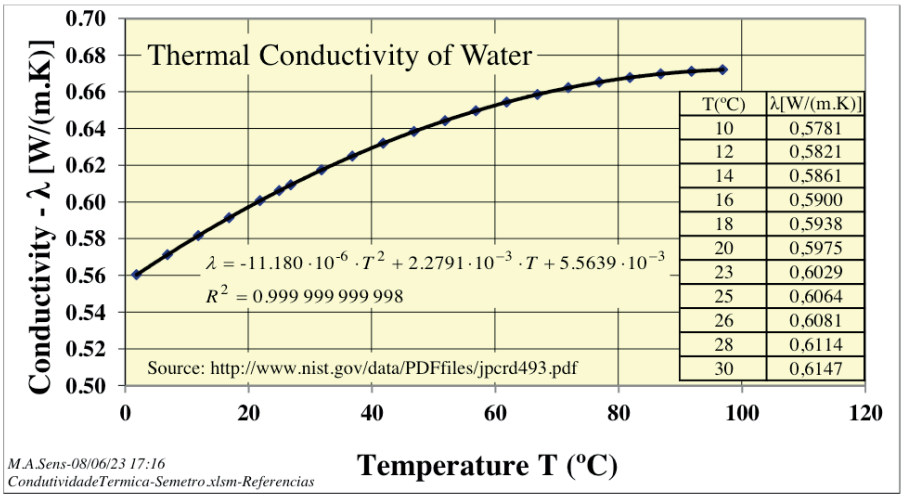


Figure 1 - Thermal Conductivity of Water[12]

6 I OBJECT UNDER TEST

A stable solid-liquid suspension is called nanofluid in which the continuous phase is liquid and the dispersed phase consists of nanoparticles with characteristic dimensions smaller than 100 nm[10]. Ferrofluids are nanofluids whose nanoparticles are ferromagnetic or ferrimagnetic. Its main difference in relation to non-magnetic nanofluids is that ferrofluids can be magnetized by an external magnetic field and generally lose magnetization after removal of the external magnetic field, which is why they can be classified as superparamagnetic materials. The emergence of these materials constitutes an apparently promising technology for the liquid dielectric of power transformers, as it consists of the addition of ferrofluids to the traditional insulating mineral oil (IMO) of transformers, aiming at improving dielectric and/or thermal properties.

Such materials, candidates for replacing traditional fluids for power transformers, were evaluated here to verify the hypotheses raised by retailers, manufacturers and

users, that they would have advantages in transferring heat from the windings of electrical transformation equipment.

Distilled water and ice samples were taken as references to validate the experimental technique, since such materials have properties that have been very well studied and evaluated, with plenty of easy access to them.

7 I METHODOLOGY PROPOSED IN THIS WORK

The proposed experimental technique for determining the thermal conductivity of liquid or pasty materials, including sand, consists of applying a heat pulse to a metallic needle, introduced in the center of a sample, whose radius is greater than twenty times the radius of the needle, and in monitoring the rise in temperature over time. One cannot, of course, apply heat pulses of magnitudes that could cause changes in the sample, in the test time, or marked convection. In the present work, samples with a volume of one liter were used, placed in glass containers, with the metallic thermal needle centered on them.

The thermal needle is shown in Figure 2, and the test circuit, with the equipment used, in Figure 3.

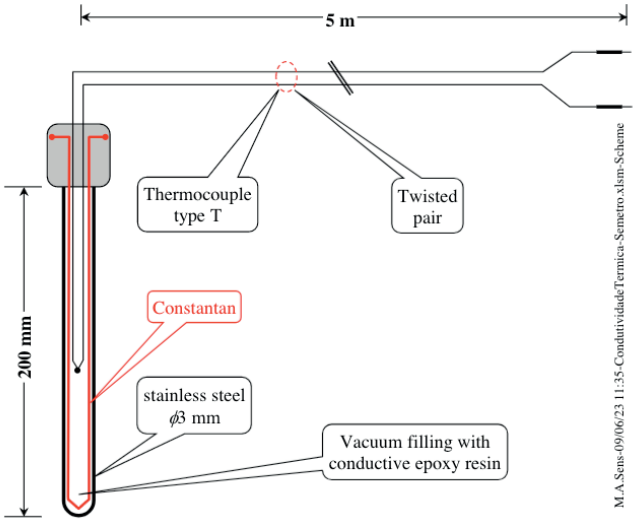


Figure 2 - Thermal Needle Design

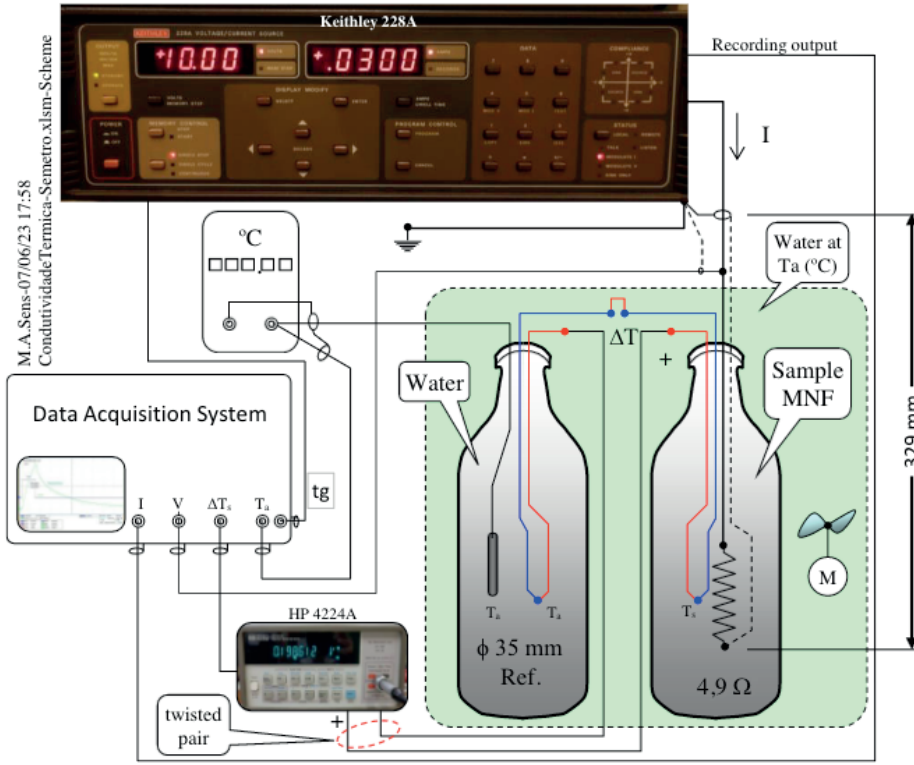


Figure 3 - Experimental Setup to Determine the Thermal Conductivity of Liquids and Sand

8 I EXPERIMENTAL TEST RESULTS

Initially, as a reference material, ice was tested, resulting in Figure 4, or 2.2 W/(m.K) ± 2.4 %, which was very close to the values in the literature[13].

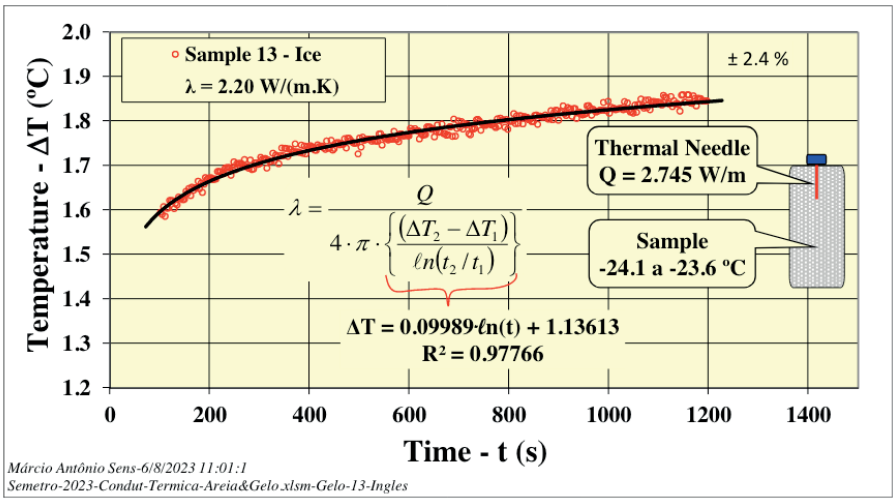


Figure 4 - Experimental Result of the Thermal Conductivity of Ice.

In the previous case, the sample was solid and validates measurements on rocks, bricks, and refractories by the present experimental technique. For liquid, distilled water was tested at different temperatures, between 10 and 40 ºC. The results for a temperature of 20 °C are shown in Figure 5.

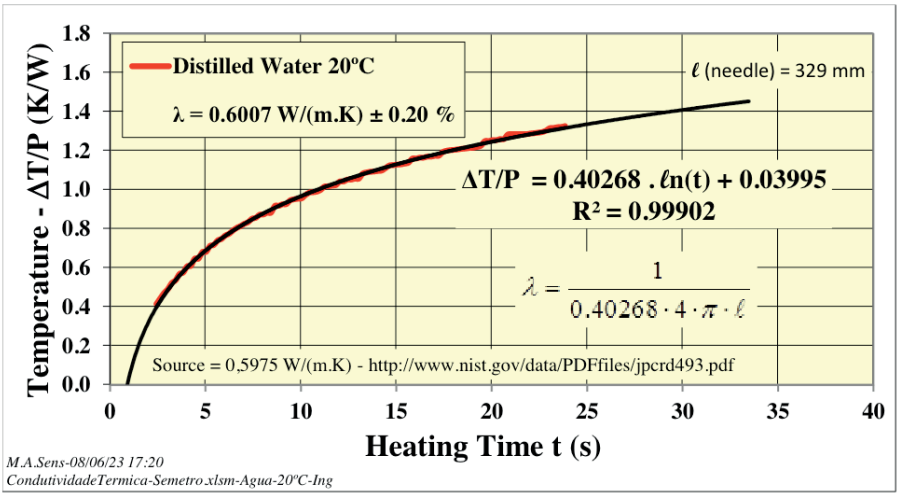


Figure 5 - Determination of Thermal Conductivity of Water 20 ºC

The results were also quite consistent with the literature[12], as shown in Figure 1, page 2, thus validating the technique for liquids, as well as for solids.

Once the experimental and mathematical analysis procedures were validated, a series of liquids were tested that are candidates for replacing the traditional liquid

dielectrics used in power transformers, insulating mineral oil with the addition of magnetic nanoparticles, magnetite, Fe_3O_4. The distribution of samples in the thermal bath is shown in Figure 6 and the monitoring results are shown in Figure 7, together with a test of one of the sand samples, sand from Guamaré, from Rio Grande do Norte – Brazil, also evaluated in the field[14].

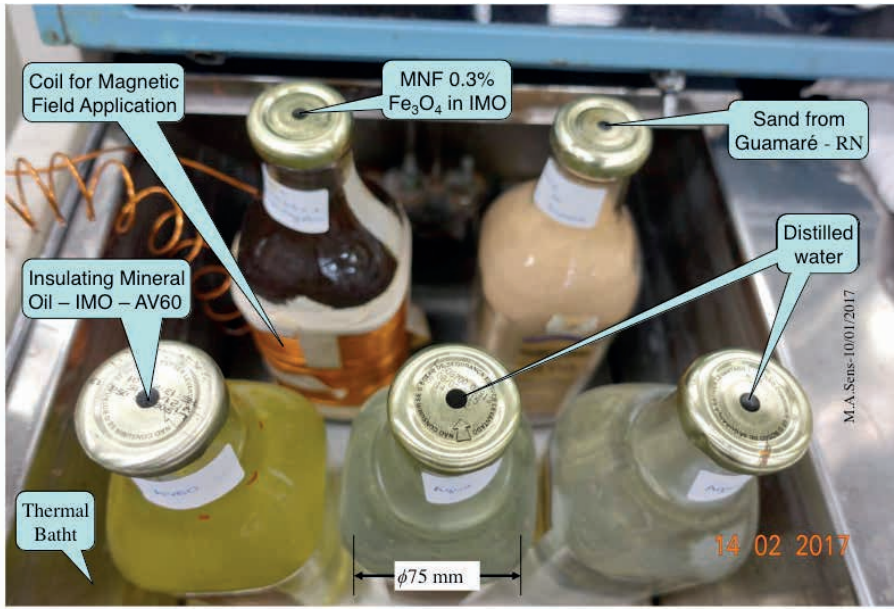


Figure 6 – Distribution of Samples in the Thermal Bath

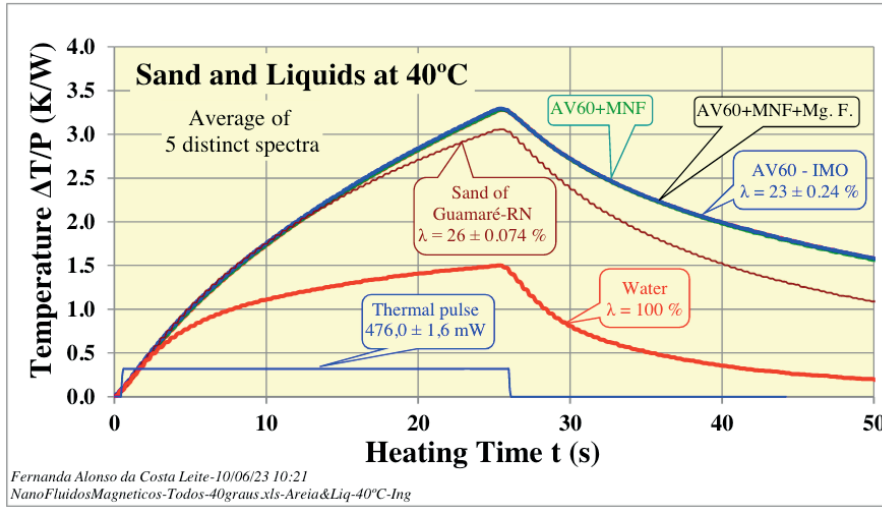


Figure 7 - Heating of Samples by Thermal Pulse-Monitoring

It should be noted that one of the samples was tested under a magnetic field of 60

Hz, simulating the conditions found inside a power transformer. The glass container was such that the needle was less than 1/20 of the diameter of the circle that circumscribes the sample under evaluation.

Using the thermal conductivities of water at different temperatures as a reference, the thermal conductivity of different liquid samples was calculated in relation to that of water, as shown by Table 1 and also illustrated in Figure 8.

Temperature of Sample	Thermal Conductivity						
	Distilled water	Insulating mineral oil - IMO			Insulating mineral oil+MNF+Mg. F.		
(ºC)	NIST [4] [W/(m.K)]	Determined [W/(m.K)]	Uncertainty (%)	Relative to water (%)	Determined [W/(m.K)]	Uncertainty (%)	Relative to water (%)
10	0.5781	0.1531	0.21	26.48	0.1498	0.21	25.91
20	0.5975	0.1508	0.22	25.24	0.1468	0.20	24.57
30	0.6147	0.1475	0.24	24.00	0.1430	0.21	23.26
40	0.6297	0.1442	0.24	22.90	0.1391	0.24	22.09
M.A.Sens-10/06/23 10:04-CondutividadeTermica-Semetro.xlsm-AV60-Res.-Ing							

Table 1 - Thermal Conductivity of Samples in Relation to Water

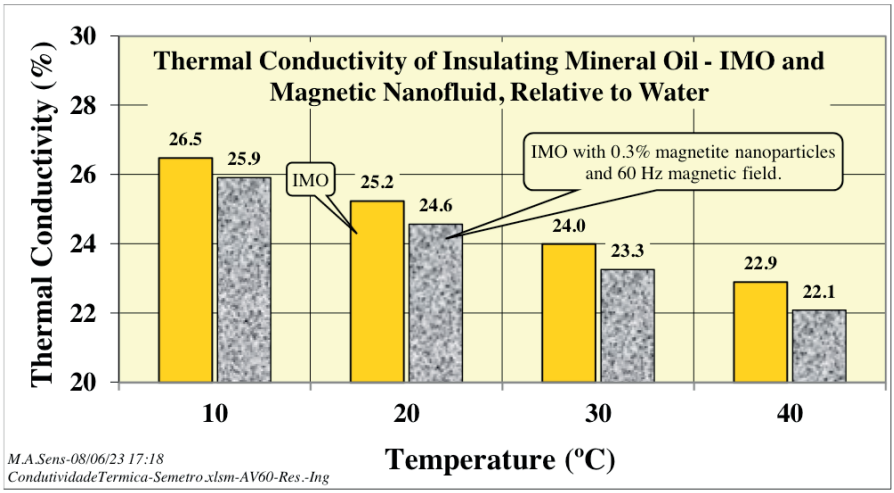


Figure 8 - Thermal Conductivity of Samples in Relation to Water

9 I CONCLUSIONS

It was concluded that the experimental technique, by electrical measurements, was completely satisfactory in determining the thermal conductivity of liquid and sand samples, in comparison with the literature. That is the technique and the mathematical equation, by curve fitting, by the least squares technique, fully met expectations.

Samples of insulating mineral oil, with or without additives of magnetic nanoparticles,

and with or without applied alternating magnetic field, showed thermal conductivity around 23 ± 0.24% in relation to the conductivity of water, at the same temperature. And the sand sample from Guamaré showed a conductivity of 26 ± 0.074% in relation to water, as shown in Figure 7.

On the other hand, the results found identified that the hypothesis of the addition of magnetic nanoparticles in the mineral oil would promote the increase of the thermal conductivity of the insulating mixture, in amounts of up to 0.3%, capable of completely blackening the original sample, without or with a magnetic field - is a myth. At contents greater than this proportion, the dielectric strength of the compound drops drastically, making its application in electrical power transformers unfeasible[10].

REFERENCES

[1] Sens, Márcio Antônio " Condutividade Térmica Efetiva de Nanofluidos para Transformadores Elétricos" - Grupo de Estudo de Transformadores, Reatores, Materiais e Tecnologias Emergentes - XXIV SNPTEE - Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica, 22 a 25 de outubro de 2017 Curitiba – PR.

[2] J. J. Healy, J. J. de Groot, and J. Kestin, “The theory of the transient hot-wire method for measuring thermal conductivity,” Physica B+C, vol. 82, no. 2, pp. 392–408, 1976.

[3] J. R. Parsons Jr. and J. C. Mulligan, “Measurement of the properties of liquids and gases using a transient hot-wire technique,” Review of Scientific Instruments, vol. 49, no. 10, pp.1460–1463, 1978.

[4] A. Kadjo, J. P. Garnier, J. P. Maye, and S. Martemianov, “A new transient two-wire method for measuring the thermal diffusivity of electrically conducting and highly corrosive liquids using small samples,” International Journal of Thermophysics, vol. 29, no. 4, pp. 1267–1277, 2008.

[5] H. S. Carslaw and J. C. Jaeger, Conduction of Heat in Solids, Oxford University Press, London, UK, 1959.

[6] “Measurement of the transport properties of fluids,” in Experimental Thermodynamics, W. A. Wakeham, A. Nagashima, and J. V. Sengers, Eds., vol. 3, Blackwell Scientific Publications, London, UK, 1991.

[7] Healy, J., de Groot, J., & Kestin, J. (1976). The theory of the transient hot-wire method for measuring thermal conductivity. Physica B+C, 82(2), 392-408. https://doi.org/10.1016/0378-4363(76)90203-5

[8] B. Merckx,1,2P. Dudoignon,1J. P. Garnier,3and D. Marchand2 "Simplified Transient Hot-Wire Method for Effective Thermal Conductivity Measurement in Geo Materials: Microstructure and Saturation Effect"; Hindawi Publishing Corporation Advances in Civil Engineering Volume 2012, Article ID 625395, 10 pages doi:10.1155/2012/625395, https://doi.org/10.1155/2012/625395.

[9] I. H. Tavman, “Effective thermal conductivity of granular porous materials,” International Communications in Heat and Mass Transfer, vol. 23, no. 2, pp. 169–176, 1996.

[10] Assis Filho, Francisco; Sens, M. A, Ueti, Edson e outros “Viabilidade de Utilização de Nanofluidos Magnéticos em Transformadores Elétricos”, XXIII SNPTEE Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica - GRUPO – GTM-Grupo de Estudo Transformadores, Reatores, Materiais e Tecnologias Emergentes, 18 a 21 de Outubro de 2015, Foz do Iguaçu – PR.

[11] ASTM D5334/05 - Standard Test Method for Determination of Thermal Conductivity of Soil and Soft Rock by Thermal Needle Probe.

[12] M. L. V. Ramires; C. A. Nieto de Castro;Y.Nagasaka;A. Nagashima; M. J. Assael; W. A. Wakeham, “Standard Reference Data for the Thermal Conductivity of water - TCHW - Transient coated hot wire technique” – NIST-USA, July 1994. Disponível em: http://www.nist.gov/data/PDFfiles/jpcrd493.pdf.

[13] Thermal properties of ice, https://material-properties.org/ice-density-strength-melting-point-thermal-conductivity/

[14] M. A. Sens, Relatório Técnico DVLF 41444/2009 - GDK S. A., "Condutividade Térmica de Solo Arenoso e Britas do Polo Industrial da Petrobras de Guamaré – RN, Avaliada no Local", 15 páginas, Rio de Janeiro, 24/11/2009.

CAPÍTULO 6

CONSTRUINDO CONHECIMENTOS EM ELETRÔNICA NO ENSINO MÉDIO POR MEIO DE OFICINAS PRÁTICAS

Data de submissão: 08/11/2023 *Data de aceite: 01/12/2023*

Geronimo Barbosa Alexandre
Mestre em Engenharia Elétrica
Professor do Ensino Básico, Técnico e Tecnológico
Instituto Federal da Paraíba Campus Cajazeiras
Cajazeiras – PB

Brenda Mayra da Silva Pereira
Graduanda em Engenharia de Controle e Automação
Instituto Federal da Paraíba Campus Cajazeiras
Cajazeiras – PB

Francisco Camilo Felix Filho
Graduando em Engenharia de Controle e Automação
Instituto Federal da Paraíba Campus Cajazeiras
Cajazeiras – PB

Alberto Grangeiro de Albuquerque Neto
Mestre em Tecnologias Agroindustriais
Técnico de Laboratório - Área: Elétrica
Instituto Federal da Paraíba Campus Cajazeiras
Cajazeiras – PB

Vinícios dos Santos Mangueira
Tecnólogo em Automação Industrial
Electronic Maker - ME
Cajazeiras – PB

José Tavares de Luna Neto
Professor EBTT
Unidade Acadêmica da Indústria (UNIND)
IFPB Campus Cajazeiras
Titulação: Especialista

RESUMO: Este artigo traz o relato de experiências vivenciadas por alunos do ensino médio quando o conteúdo de circuitos elétricos e eletrônica é feito por meio de oficinas práticas, unindo teoria e experimentação. O trabalho é fruto de uma parceria extensionista entre o IFPB Campus Cajazeiras e as escolas estaduais do município, tendo como foco as turmas do 3º ano, onde foi estudado conceitos de circuitos elétricos, prototipagem eletrônica e reparos básicos de equipamentos. Além de uma aprendizagem dinâmica por meio de montagens, foram feitas revisões conceituais sobre o tema, visando a preparação para o ENEM. A metodologia consistiu em oficinas teóricas assistidas por simulação em sala de aula e em seguida as oficinas práticas no Laboratório de Eletrônica. Ao todo foram três turmas que experimentaram a metodologia de ensino e foram realizadas três montagens em cada

oficina. Ao término do projeto foi aplicado um questionário web para avaliar a satisfação dos alunos a respeito da metodologia vivenciada. Os resultados da pesquisa de satisfação, traz que os alunos se sentiram motivados a estudar o assunto e que houve uma aproximação com o mundo da tecnologia e das ciências exatas, antecipando vivências do ensino superior e do mundo do trabalho.
PALAVRAS-CHAVE: Circuitos elétricos; Experimentação; Ensino médio; Oficinas.

BUILDING KNOWLEDGES IN ELECTRONIC IN HIGH SCHOOL THROUGH PRACTICAL WORKSHOPS

ABSTRACT: This paper reports on experiences lived by high school students when the content of electrical circuits and electronics is taught through practical workshops, combining theory and experimentation. The work is the result of an extension partnership between the IFPB Campus Cajazeiras and the municipality's state schools, focusing on 3rd year classes, where study concepts of electrical circuits, electronic prototyping and basic equipment repairs. In addition to dynamic learning through montages, conceptual reviews were made on the topic, aiming to prepare for the ENEM. The methodology consisted of theoretical workshops assisted by simulation in the classroom and then practical workshops in the Electronics Laboratory. In total, there three groups that tried out the teaching methodology and three assemblies were carried out in each workshop. At the end of the project, a web questionnaire was administered to assess student satisfaction with the methodology experienced. The results of the satisfaction survey show that students felt motivated to study the subject and that there was an approach to the world of technology and exact sciences, anticipating experiences of higher education and the world of work.
KEYWORDS: Electric circuits; Experimentation; High school; Workshops.

1 | INTRODUÇÃO

Durante o ensino médio muitas vezes os jovens encontram-se em dúvida de como prosseguir após sua conclusão, conhecimentos soltos que muitas vezes se tornam confusos não são favoráveis à tomada de decisões. Tendo em vista que o ensino atual tende a falhar quando o assunto é uma abordagem diferente dos conteúdos vistos em sala, uma abordagem mais prática parece se tornar uma proposta promissora para a fixação das lições apresentadas, trazendo à tona o fazer além de pensar.

Nos Estados Unidos, o movimento STEM (Science, Technology, Engineering and Math), que aborda justamente esse aprendizado mais prático, tem se mostrado bastante efetivo, conhecimentos que muitas vezes só serão vistos em um curso técnico ou superior são introduzidos já na formação juvenil, com um foco maior no ensino médio. A metodologia de ensino faz com que os estudantes se forcem a achar uma solução prática para um problema real, o que se torna uma contribuição para a sociedade. Um aspecto tão importante quanto é a cultura maker ou cultura DIY (Do It Yourself), faça você mesmo, que incentiva a manutenção e criação utilizando métodos relativamente simples, que podem ser realizados em casa, visando diminuir o consumismo.

Neste contexto o objetivo do Trabalho é levar teoria e práticas sobre circuitos elétricos e eletrônica nas escolas estaduais parceiras no município de Cajazeiras-PB e região, para que os estudantes despertem interesse pelas áreas da Ciência, Tecnologia, Engenharia e Matemática. Foram realizadas oficinas junto da comunidade estudantil na construção do conhecimento, ferramentas de simulação e de confecção de circuitos práticos. O foco foram três turmas do 3º ano, reforçando por meio de atividades práticas a preparação para o ENEM (Exame Nacional do Ensino Médio). Por fim, o projeto propôs a aproximação dos estudantes ao mundo da tecnologia e das ciências exatas, antecipando vivências do ensino técnico e superior.

Durante as oficinas teóricas foram introduzidas ferramentas de simulação como por exemplo: o Tinkercad, o Fritzing, Multisim Live e o Proteus versão estudantil, bem como aplicativos disponíveis na Play Store Google para dispositivos móveis. Tais ferramentas são de extrema importância para auxiliar o educador na hora da realização das atividades experimentais e de simulação (HORST; CORDENONS, 2020).

Neste modelo de ensino baseado em oficinas práticas, o aluno passa a ser agente ativo do processo e o professor atua como um consultor, orientando o aluno nas etapas propostas, auxiliando na melhor solução e no feedback de informações técnicas, na gestão de tempo e na gestão dos materiais. Já o aluno é principal ator no processo de aprendizagem, deixando de ser apenas um ouvinte e passa a buscar estratégias viáveis (técnico e econômico) para a confecção de produtos, muitas vezes antecipando vivências e desafios encontrados no cotidiano do futuro profissional.

2 | REFERENCIAL TEÓRICO

Pode-se afirmar que, o conceito de Ciência e Tecnologia em ensinos, muitas das vezes são vistos de maneira rasa, o que faz com os alunos não tenham o engajamento para seguir nessas áreas, ou ingressarem e não possuírem empenho necessário para prosseguir.

Segundo com Fredricks, Blumenfeld e Paris (2004), o engajamento se divide em três categorias, tais como: comportamentais, emocionais e cognitivos.

A participação e o envolvimento dos alunos, bem como as boas ações com as quais eles se comprometem, são fatores no engajamento comportamental. As respostas afetivas e emocionais dos alunos a uma tarefa, um assunto e outros aspectos do ambiente de aprendizagem são consideradas parte de seu nível de envolvimento emocional. O compromisso do aluno com a aprendizagem é refletido em seu engajamento cognitivo. Quando ocorre um bom engajamento, os benefícios são divididos em outros setores, como os professores, gestores ou pesquisadores, pela razão que está relacionada à performance dos estudantes no ambiente de ensino.

Para responder certos questionamentos, Borges, Júlio e Coelho (2005), mostraram

que o método de avaliação envolveu o comportamental e o cognitivo de estudantes do ensino médio em um ambiente de aprendizagem trouxeram resultados pensativos para um projeto de renovação curricular. Eles observaram como o ambiente de aprendizagem afetou os níveis de envolvimento do aluno e como o aprendizado e o envolvimento comportamental e cognitivo estavam relacionados entre si. Os resultados de testes com perguntas abertas e informações sobre atividades gerais como ler, resumir e conversar com colegas de trabalho serviram de base para os indicadores de engajamento. De acordo com os resultados, o ambiente de aprendizagem planejado encorajou os alunos a manter seu envolvimento comportamental ao longo do ano letivo, mas não seu envolvimento cognitivo. Além disso, descobriu-se que a manutenção do engajamento comportamental não implica na aprendizagem, pois os alunos devem estar cognitivamente engajados para que isso aconteça, já que há o correlacionamento com as subsunções, que é a aprendizagem significativa.

Em Moreira e Portelo (2009), analisaram o envolvimento de alunos do ensino médio por meio da iniciação científica em um projeto que incluía coleta automática de dados e processamento em laboratório. Os resultados mostram que variações na ligação entre o significado inicial que os alunos atribuem às atividades e seu significado podem ajudar a explicar os vários níveis de envolvimento dos alunos. Em Magennis e Farrell (2005) em seu trabalho, Emerging issues in the practice of university learning and teaching, apresentam um esquema onde formas de transmissão de conhecimento são relacionadas ao índice de retenção desse conhecimento, é possível observar que o método prático apresenta um índice de 75% de retenção, além de que atividades práticas promovem desafios e entregam uma satisfação ao aluno quando resolvidos.

No trabalho de Carlos Laburú (2005), existem diversos métodos relacionados a epistemologia, métodos esses que não estão relacionados apenas a sala de aula e buscam entregar aos alunos competências por meio de práticas comuns vinculadas a objetivos gerais. A maioria das escolas não aplicam esses métodos, na maior parte dos casos, por dois fatores, o primeiro é a falta de equipamentos e o segunda é a falta de capacitação do corpo docente, ambos relacionados à omissão de investimento nas escolas da rede pública. Todavia, uma solução para esses problemas foi proposta por Guedes, *et al* (2008), em seu artigo sobre o desenvolvimento de um software voltado para o ensino de eletrônica básica, onde ele ressalta a importância da prática de eletrônica para uma maior compreensão dos conteúdos e a visualização dos resultados obtidos de forma simulada devido às próprias limitações das instituições.

Esse processo também foi debatido por Moreira (2011), onde traz novas informações que relaciona com outras pré-existentes, por exemplo, os alunos estudam conceitos de física como as Leis de Kirchhoff, porém com uma prática simples de circuitos eletrônicos há uma fixação melhor do conteúdo visto, já que o conceito teórico apresentado em sala de aula foi comprovado de modo prático e o próprio aluno será responsável pela dedução.

Além disso, a prototipagem vem crescendo de maneira elevada durante os anos, na qual os alunos podem entender como componentes e elementos físicos podem funcionar, por meio de aplicativos de montagem e prática, como por exemplo, Arduino, que pode ser programado com softwares de código abertos. Dessa forma, são ferramentas projetadas com objetivos educacionais que podem ajudar os professores a trabalhar com os alunos sobre os conceitos teóricos de suas disciplinas, (Horst; Cordenons, 2020).

De maneira mais ampla, todos os estudos são voltados ao movimento crescente de STEM, que vem ganhando força pelo mundo, pois prioriza na educação básica e superior estudos sobre Ciência, Tecnologia, Engenharia e Matemática, de modo incentive os indivíduos a seguirem em alguma das quatro áreas, de maneira que rompe o ensino tradicional, o que traz ao aluno conexões mais próximo da realidade. Para Ritz e Fan (2015), a reforma educacional do STEM difere das outras porque se concentra em resolver questões econômicas e globais.

Nos Estados Unidos, o investimento nas áreas do STEM chega à casa de bilhões de dólares por ano, pois para eles os STEM são os empregos do futuro, sendo primordial para as competitividades globais e avanço tecnológico (LANGDON, *et al*, 2011). Já no Brasil, o movimento ainda é fraco, pouco se é debatido nas revistas de ciência sobre o STEM, e na maioria dos casos, quando ocorre é por órgãos não-governamentais em escola públicas, sendo possível observar que quando a um incentivo, ainda não é tão avançado ou até mesmo desatualizado da crescente evolução desse meio, seja por falta de equipamentos e componentes ou pela falta de profissionais que busca levar mais conhecimentos sobre as quatros áreas, porém de maneira atual, (PUGLIESE, 2020).

Em suma, a competitividade e o crescimento econômico sustentaram essas ideias por muitos anos. Em 1983, já era notado pelo governador do Arizona, nos Estados Unidos, que o desenvolvimento de outros países estava sendo prejudicado por seu destaque nas áreas de educação, engenharia e matemática em face do desenvolvimento econômico, (CONTRERAS; SIU, 2015). Assim, garantir que os estudantes tenham experiências pré-universitárias durante o ensino e promover sua fluência técnica é uma estratégia para atraí-las para as áreas de engenharia, (CROSS, *et al*, 2015).

3 I MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho foi realizado com três turmas do 3º ano do ensino médio de escolas públicas estaduais no município de Cajazeiras-PB, e consistiu em: (a) oficinas teóricas com simulação computacional em sala de aula; (b) Oficinas práticas no laboratório de eletrônica do IFPB Campus Cajazeiras. As oficinas capacitaram 45 alunos, tornando-os aptos a trabalhos de reparos de equipamentos eletrônicos, bem como fortaleceu a preparação dos estudantes envolvidos para o ENEM.

A pesquisa realizada é do tipo pesquisa de campo com natureza exploratória e

descritiva com abordagem qualitativa. A pesquisa buscou investigar a satisfação do alunado na aplicação da metodologia de ensino baseado em oficinas experimentais, a importância desse método em sua carreira profissional do aluno. O trabalho teve amostragem não probabilística por conveniência. De acordo com Cozby (2006), diz que a amostra não probabilística por conveniência, o pesquisador seleciona os participantes da pesquisa pela acessibilidade.

O instrumento de coleta utilizado foi um questionário de satisfação pessoal, aplicado por meio da plataforma Formulários Google, onde cada aluno que participou do experimento respondeu a perguntas abertas, de múltipla escolha e escalonamento de satisfação.

3.1 Oficinas Teóricas com Simulação

A primeira etapa das oficinas foram as aulas teórica com simulação em ambiente de sala de aula, onde conceitos de eletrônica básica, cálculos vistos em disciplinas como Física, em Lei de Ohm e Lei de Kirchhof, foram trabalhados. De modo que os alunos pudessem absorver melhor o conteúdo e entender todo o processo, antes mesmo de praticar.

Dessa forma, orientou-se de primeira partida uma explicação e demonstração dos componentes elétricos, sendo esses os que seriam trabalhados durante o processo. Os componentes foram mostrados na sua maneira teórica e prática (simulação), são: (NILSSON, 2016):

1. O resistor: Nessa parte os alunos viram como pode se medir a resistência com o multímetro e pelos anéis ao seu redor, usando o aplicativo para identificar as cores, intitulado resistor, de fácil acesso pela Play Store, além de entender que é responsável por limitar a corrente elétrica. Também foram trabalhados os conceitos de associação equivalente em série (soma das resistências) e paralelo (soma do inverso das resistências)

2. O potenciômetro: Sendo esse um resistor variável, só que agora, pode alterar a limitação de corrente, os alunos conseguiram entender isso através de uma prática de controle de luminosidade com o LED (Light Emitting Diode, em inglês).

3. O capacitor: dispositivo que armazena energia elétrica, para este componente houve a prática para a medição da capacitância e em seguida a visualização do ciclo de carregando e descarregando em um circuito RC, também foram trabalhados os conceitos de associações em série (soma do inverso das capacitâncias) e paralelo (soma das capacitâncias).

4. O Diodo e o LED: Nessa parte para entender como ambos tem uma funcionalidade bem similar, sendo que o diodo tem como objetivo dar uma orientação a carga e o LED, o mesmo, porém com um fator agora de iluminar, foi ligado um diodo e um LED com a polarização contrária, para que os alunos entendessem como funciona parte do cátodo e anodo.

5. O Indutor: Para se compreender como é a criação de um campo magnético quando se possui uma bobina e é aplicado nos terminais uma corrente elétrica.

Na sequência foram trabalhados em sala de aula os procedimentos para a fabricação de uma placa de circuito impresso (PCI). Os circuitos são feitos, geralmente, em placas de fenolite cobreada, porém antes de partir para a confecção da PCI é preciso passar pelo protótipo, que nada mais é do que montar o circuito planejado de uma maneira mais simples e não definitiva, para isso é utilizado placas de protótipo ou protoboard.

3.2 Oficinas Experimentais

No ambiente do Laboratório de Eletricidade e Eletrônica do IFPB do Campus Cajazeiras os alunos foram apresentados aos equipamentos das bancadas didáticas (gerador de sinais, fonte CC e osciloscópio) e aos componentes eletrônicos (protoboard, resistor, capacitor, LED e indutor).

Na sequência a turma foi dividido em duplas para montagem do circuito elétrico ilustrado na Figura 1. O circuito consiste de um resistor em série com um LED, alimentado por uma fonte de corrente continua, nesta etapa os alunos aprenderam como está ligada as trilhas do protoboard e o funcionamento do circuito proposto.

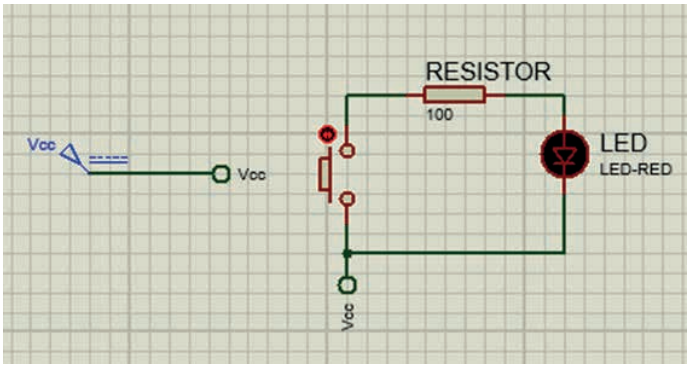


Figura 1. Acionamento de um LED usando botão.

Fonte: Autoria Própria, 2023.

O objetivo da prática é verificar a lei de Ohm, ao apertar o botão a fonte fornece tensão e corrente para a carga (resistor e LED), acendendo o LED.

A segunda montagem da oficina prática consiste no acionamento de um motor CC usando o circuito integrado (CI) 555 e ajuste da velocidade por meio de um potenciômetro (Figura 2). Novamente a turma foi dividida em duplas para execução da atividade experimental, durante a montagem foi explicado o funcionamento do CI, a forma de onda gerada (Pulse Width Modulation – PWM) e as aplicações do circuito proposto.

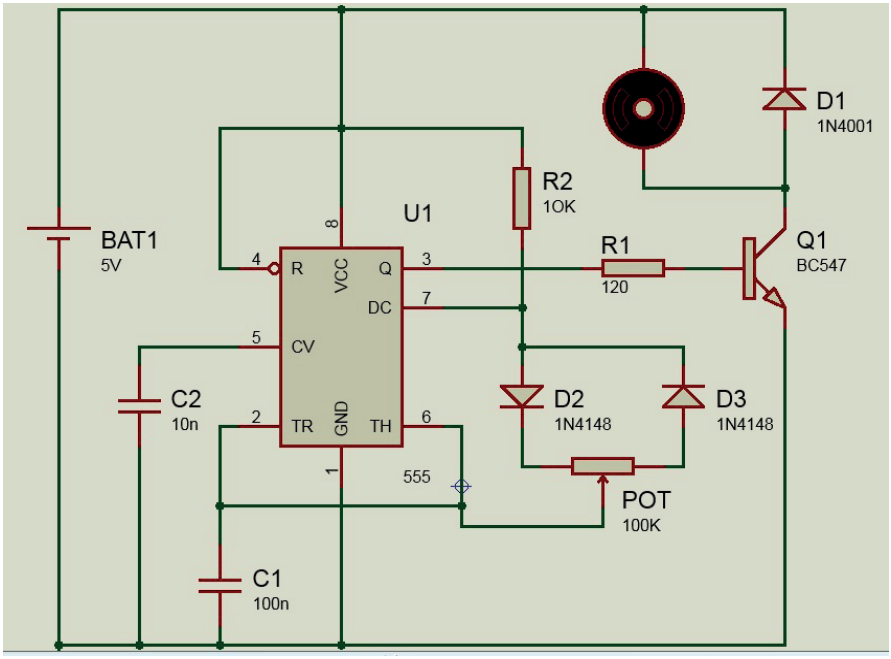


Figura 2: Circuito de acionamento do motor CC usando o CI 555.

Fonte: Autoria Própria, 2023.

Vale salientar que foi feita a simulação do circuito da Figura 2 e a montagem por todas as duplas. A montagem foi feita em protoboard e testada com sucesso pelas equipes. Na Figura 3 é ilustrado as equipes dividas no Laboratório no dia da oficina prática.

Figura 3. Alunos no laboratório durante as atividades experimentais.

Fonte: Autoria Própria, 2023.

A terceira e última montagem da oficina consistiu na confecção da placa de circuito

impresso (PCI) para o circuito da Figura 2, as equipes seguiram as seguintes etapas:

- Desenho do circuito proposto no Proteus, KiCad ou outra ferramenta de prototipagem;
- Impressão do layout (arquivo BOTTOM) em papel fotográfico;
- Corte da placa fenolite, limpeza e aplicação do desenho (transferência térmica do desenho impresso para a placa) - Uso do ferro de passar roupas;
- Imersão (30 a 45 min) em água morna com detergente do conjunto placa com papel fotográfico;
- Retirada do papel fotográfico (fricção com os dedos);
- Limpeza da placa em água corrente, conferência e retoques das trilhas;
- Corrosão da placa usando percloreto de ferro (30 a 45 min), em seguida remoção do toner usando removedor de esmaltes de unhas.
- Teste de continuidade das trilhas;
- Furar a placa para receber os componentes;
- Fixação e soldagem dos componentes;
- Testes elétricos de validação do produto (PCI).

Na Figura 4 é ilustrada a placa de circuito impresso confeccionada por uma das duplas, onde é visto o processo de soldagem dos componentes e a etapa dos testes do funcionamento (ajuste da velocidade do motor).

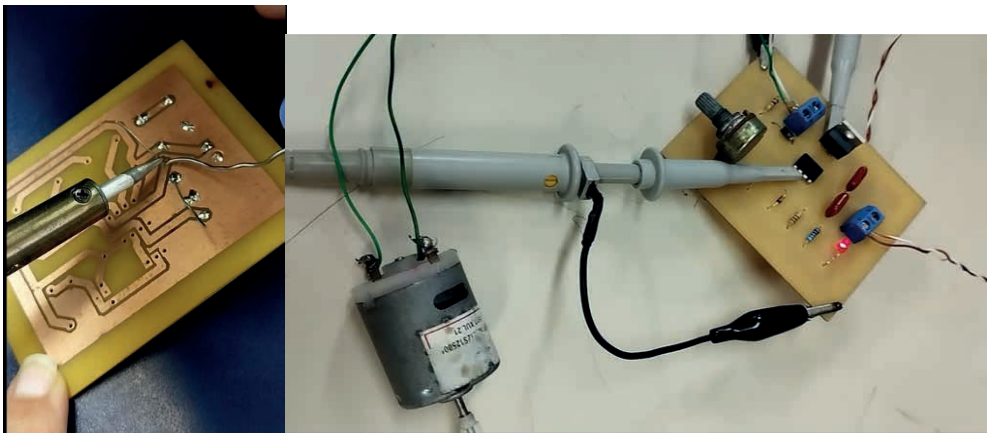


Figura 4. PCI confeccionada por uma dupla.

Fonte: Autoria Própria, 2023.

Vídeo das etapas da confecção da PCI, disponível em:

https://www.linkedin.com/posts/geronimo-barbosa-alexandre-50236196_ensino-eletronica-pcb-activity-7091810934486134784-h8C_?utm_source=share&utm_medium=member_desktop

O vídeo com todas as etapas de confecção da placa de circuito impresso (PCI) pode ser acessado no link acima.

Durante todo o processo os alunos foram orientados, de modo que eles se sentissem seguros para manusear os equipamentos, pois foi possível notar que durante o experimento, de princípio, os discentes estavam nervosos e sem entender bem como funcionava conceitos vistos durante as aulas teóricas, porém depois de diversos testes e experimentações, eles puderam notar que não se distanciava tanta da teoria e as montagens foram concluídas com sucesso.

4 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

Ao término dos trabalhos, disponibilizou-se um formulário web para que os alunos avaliassem a satisfação com relação a oficina experimental. Dos 45 alunos que participaram das oficinas apenas 17 alunos responderam ao questionário web.

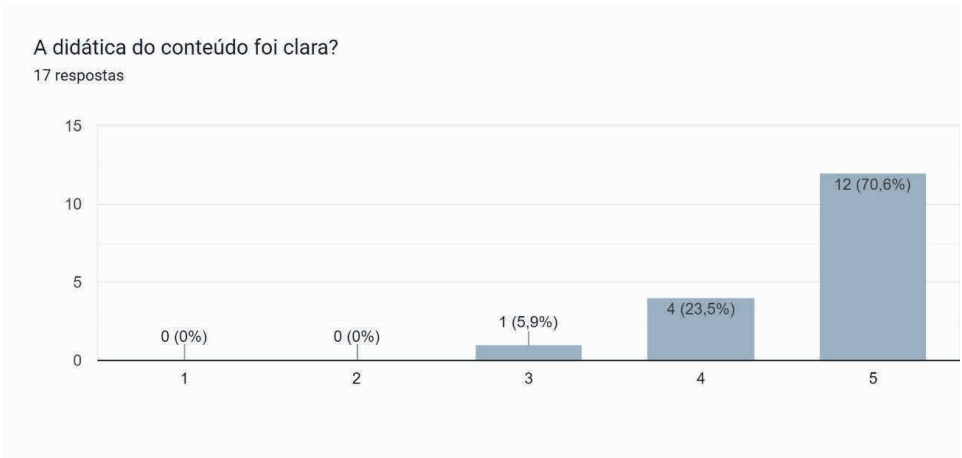


Figura 5. Resultados da pesquisa acerca da didática durante as oficinas.

O primeiro questionamento teve como foco a didática trabalhada durante a oficina, Figura 5, em uma escala de um a cinco, sendo cinco o máximo de satisfação com o método trabalhado, aproximadamente 71% dos integrantes expressaram o máximo de satisfação e absorção com relação ao conteúdo trabalhado durante a realização das práticas.

A Figura 6 ilustra a coerência das práticas com os assuntos vistos em sala, o quão similar era com as teorias vistas anteriormente, em uma escala de um a cinco, sendo cinco o maior nível de coerência, aproximadamente 82% dos integrantes viram uma maior similaridade com os conteúdos ministrados em sala, os exemplos práticos trouxeram um entendimento mais aprofundado ou até mesmo uma compreensão para assuntos que antes não haviam sido completamente absorvidos.

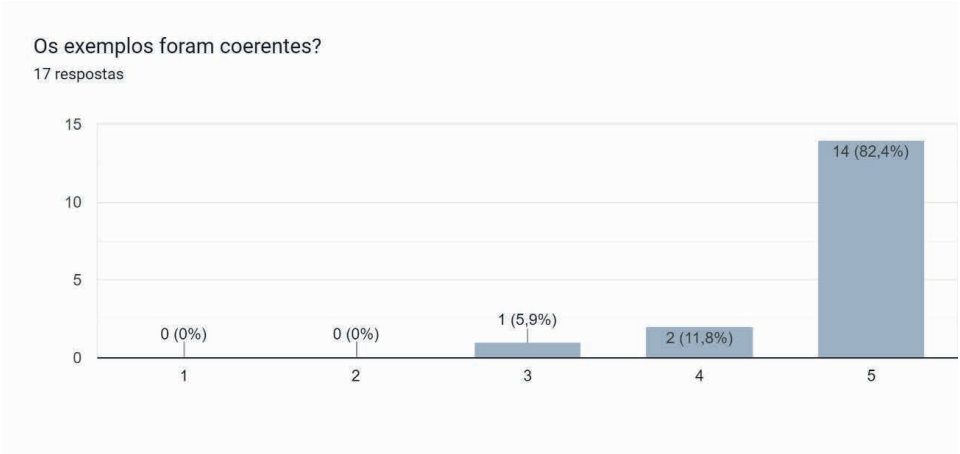


Figura 6. Resultados da pesquisa acerca da coerência dos assuntos trabalhados.

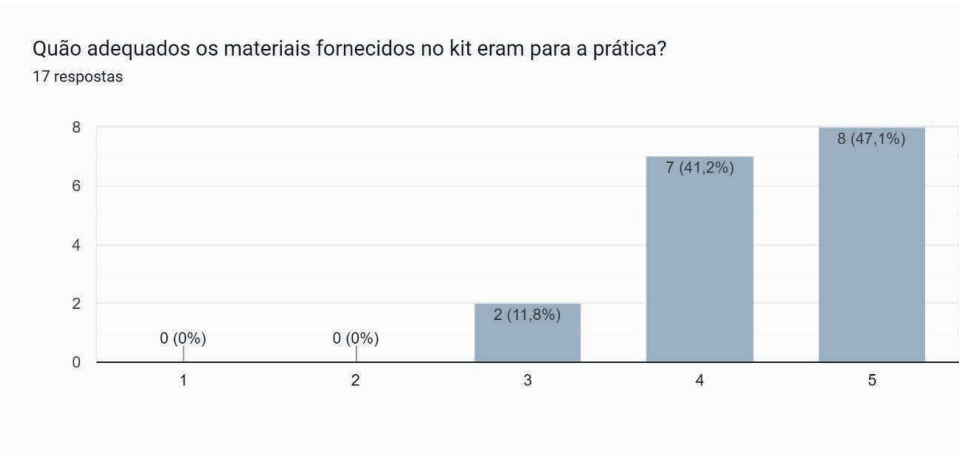


Figura 7. Resultados da pesquisa acerca dos materiais usados durante as oficinas.

Os indicadores acerca da qualidade e da quantidade dos materiais usados nas montagens experimentais, estão ilustrados na Figura 7. Dos alunos que responderam o questionário, 41% indicaram o nível quatro, enquanto 47% apontaram o nível cinco, apresentando um alto nível de adequação.

A Figura 8 traz os resultados sobre possíveis obstáculos encontrados durante o processo de corrosão da placa de fenolite, numa escala de um (menor dificuldade) a cinco (maior dificuldade). Observou-se que todos os participantes enfrentaram uma maior dificuldade nesta fase. O tempo que o percloreto leva para corroer pode variar dependendo de como é preparado, no geral deve ser usado 45 minutos.

Finalmente, a análise geral do que foi observado, se o conteúdo foi bem apresentado, a satisfação geral em relação aos materiais e apoio nas atividades, é ilustrado na Figura 9. Em uma escala de um a dez, onde dez indica a maior satisfação com o desempenho do

projeto, a maioria dos resultados está entre nove e dez, o que nos leva a acreditar que a o ensino baseado em práticas experimentais traz bons resultados, colaborando na formação do futuro profissional.

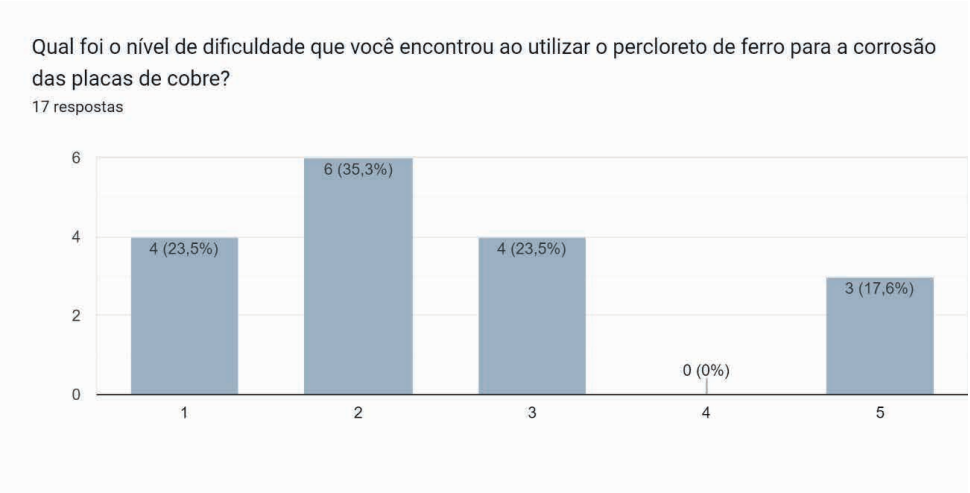


Figura 8. Resultados da pesquisa acerca das dificuldades no processo de corrosão.

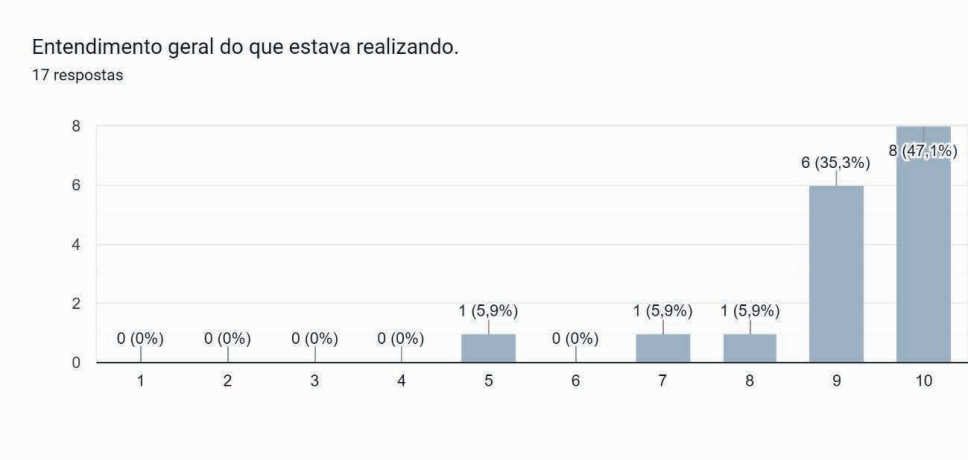


Figura 9. Resultados da pesquisa acerca da satisfação geral com as oficinas práticas.

A participação de cada integrante durante o questionário foi crucial para a análise do trabalho como um todo, identificando pontos que podem ser melhorados, entre outros aspectos. As opiniões coletadas foram as seguintes:

- A prática poderia ter um tempo maior para ser executada.
- O uso da impressora LPKF foi citado, contudo não houve o uso.
- Maiores cuidados ao inserir as trilhas na simulação para que na prática fique um espaçamento maior.

- Apesar da explicação ser clara, o uso do Proteus versão estudantil ainda pode ser bastante confuso.

Essas e outras opiniões foram coletadas ao final da oficina, identificando áreas de déficit nas práticas. No entanto, esses pontos não impediram o bom andamento das aulas.

5 I CONCLUSÕES

Pode-se observar que quando é explicado um determinado assunto, seja ele qual for, porém no final da explicação haja uma prática envolvendo todo o ocorrido, os alunos tendem a ter um interesse maior sobre o assunto.

Dessa forma, verificou-se que quando os componentes eram explicados, existia uma parte com cálculo, mas que os alunos poderiam provar que os cálculos estavam certos por equipamentos como multímetro, ou observando um simples LED ligar ou não, o interesse pelo assunto era maior. Ou outro exemplo, é quando apenas um simples circuito visto de maneira bem simples na aula, era colocado para funcionar em um software, os discentes entendiam, como cálculos da Lei de Ohm ou Lei de Kirchhof funcionava do mesmo jeito, e que essas análises servem também, seja para melhorar o circuito ou entender como uma malha se comporta.

Já na prática, notou-se que apesar dos alunos estarem um pouco inseguros, depois de diversas experimentações, os discentes se sentiram mais seguros para buscar soluções para os desafios, seja na escola ou na vida profissional, de modo que muitos abriram a cabeça para o mundo além do teórico.

Fica claro que quando se tem um incentivo, mesmo que simples, porém que desperte o interesse do discente, o retorno seja na atenção à aula ou para seguir nas áreas de Ciência e Tecnologia é crescente. Assim, levar tais ideias para os componentes curriculares como matemática, física ou química no ensino médio, irá trazer mais alunos para essas áreas.

Pode-se concluir que as oficinas práticas foram repletas de novas experiências, levando consigo um trabalho em equipe e com segurança, leitura de manuais, elaboração de projetos, a experiência ao falar em público, aprendizagem no uso de manuais de equipamentos elétricos, aprendizagem em organização e guarda de materiais elétricos e o trabalho em equipe.

REFERÊNCIAS

BORGES, O.; JULIO, J. M.; COELHO, G. R. Efeitos de um Ambiente de Aprendizagem sobre o Engajamento Comportamental, o Engajamento Cognitivo e sobre a Aprendizagem. **Anais**. V Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências. Associação Brasileira de Pesquisa em Ensino de Ciências, 2005.

CONTRERAS, G. J.; SIU, K. W. M. Computer programming for all: A case-study in product design education. **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, 182:388 – 394. 4th, 2015.

COZBY, P. **Métodos de pesquisa em ciências do comportamento**. São Paulo: Editora Atlas, 2006.

CROSS, J. L., HAMNER, E., BARTLEY, C., AND NOURBAKHSH, I. Arts amp; bots: Application and outcomes of a secondary school robotics program. **IEEE Frontiers in Education Conference** (FIE), El Paso, pages 1–9.

FREDRICKS, J. A.; BLUMENFELD, P. C.; PARIS, A. H. School Engagement: Potential of the Concept, State of the Evidence. **Review of Educational Research**, v. 74, n. 1, p. 59–109, 2004.

GUEDES, J. R.; DREHER J. R.; GUEDES, C. L. Software para Ensino de Eletrônica Básica. **Anais**. Congresso Sul Brasileiro de Computação (SULCOMP), 2008.

HORST, E. L.; CORDENONSI, A. Z. O uso das plataformas de prototipagem Arduino e Raspberry Pi na educação brasileira: uma Revisão Sistemática de Literatura. **RENOTE**, v. 18, n. 2, p. 470-480, 2020.

LABURU, C. E. **Educação científica: controvérsias construtivistas e pluralismo metodológico**. Londrina: EDUEL, 2005.

LANGDON, D.; BEEDE, D.; DOMS, M. STEM: Good Jobs Now and for the Future. In: **Economics and Statistics Administration Issue Brief**, v. 3, n. 11, p. 1–10, 2011.

MAGENNIS, S.; FARRELL, A. Teaching and learning activities: Expanding the repertoire to support student learning. **Emerging issues in the practice of university learning and teaching**, v. 1, 2005.

MOREIRA, A. F.; PONTELO, I. Níveis de engajamento em uma atividade prática de Física com aquisição automática de dados. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 9, n. 2, p. 148–167, 2009.

MOREIRA, M. A. **Teorias de aprendizagem**. 2ª Edição Ampliada. São Paulo: E.P.U., 2011.

NILSSON, J. W.; RIEDEL, S. A. **Circuitos Elétricos**. 10. ed. Pearson, 2016.

PUGLIESE, G. STEM EDUCATION - um panorama e sua relação com a educação brasileira. **Currículo sem fronteiras**, v. 20, n. 1, p. 209-232, 2020.

RITZ, J. M.; FAN, S.C. STEM and technology education: international state-of-the-art. **International Journal of Technology and Design Education**, v. 25, n. 4, p. 429–451, 2015. DOI: https://doi.org/10.1007/s10798-014-9290-z

FABRÍCIO MORAES DE ALMEIDA - Possui graduação em Matemática pela UFMT (2000), Físico - Lei n. 13.691, de 10 de julho de 2018, Especialização em Física Básica - UFMT (2001), Esp. em Redes de Computadores - UNIRONDON (2009), mestrado em Física pela Universidade Federal do Ceará (2002) e Doutorado em Física pela UFC (2005), Pós-doutorado - UFMT/CNPq (2009). E também com formação em Engenharia de Computação/Produção. Têm várias pesquisas científicas com temas de Engenharia Elétrica, Computação/Produção; Inovação, Modelagem, Gestão e Desenvolvimento Regional; Modelagem Matemática/ Computacional e pesquisas interdisciplinares. É líder do grupo de pesquisa GEITEC/UFRO (https://geitec.unir.br/homepage). Já orientou dezenas de teses e dissertações. Adicionalmente, com centenas de publicações científicas em diversas revistas internacionais e nacionais. *E também foi Chefe de Departamento do curso de Bacharelado em Engenharia Elétrica da Fundação Universidade Federal de Rondônia de 2012 até 2018* (para saber mais, acesse: https://eletrica.unir.br/ homepage). E algumas áreas de atuação, são: Ciência de dados e Engenharia; Engenharia de computação; Engenharia de Software, Engenharia Elétrica; Engenharia de Produção; Gestão, Tecnologia e Inovação; Modelagem e Ciências Ambientais; Sistema de Computação e Energia (para saber mais, acesse: http:// dgp.cnpq.br/dgp/espelhorh/5959143194142131). Ademais, têm especializações pela FUNIP (2020/2023), em: Engenharia Elétrica, Engenharia de Produção, Engenharia de Controle e Automação Industrial; Engenharia de Software e Análise e Desenvolvimento de Sistemas. Tem experiência com: consultoria de pesquisa, tecnologia, engenharia, inovação e negócios; mais de 20 anos de experiência com administração e gerência de empresas públicas e privadas; também com vasto conhecimento em gestão de projetos; mais de 22 anos de estudos/pesquisas com computação e análise de dados. Atualmente, é professor-associado 3 da Universidade Federal de Rondônia. Desde 2012, é professor do Departamento de Engenharia Elétrica. E docente do Programa de Pós-graduação: Doutorado/ Mestrado em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente – UFRO, desde 2014. Além disso, é Bolsista de **Desenvolvimento Tecnológico Industrial do CNPq-DTI Nível A**. (para saber mais, acesse: http://lattes.cnpq.br/5959143194142131).

85-90% de eficiência 60

C

Circuitos elétricos 2, 64, 79, 80, 92

Classificadores inteligentes 1, 2, 24, 25

Componente eletrônico 63

Conductivity of 26 ± 0.074% 77

D

Distributed generation (DG) 2, 25, 26, 27, 29, 30, 31, 32, 33, 62

E

Eficiência das Usinas 60

Electric current in the core that arose in creation 38, 42

Electric Current In The Nucleus 42

Electromagnetism 35, 37, 41, 42

Energia da biomassa 59

Energia da termelétrica 59

Energia do gás natural 59

Energia eólica 58

Energia hidroelétrica 57, 58

Energia nuclear 60

Energia solar 57, 58

Estrutura física do protótipo 64

Experimentação 79, 80

F

Faraday's law 39

Ferromagnetic materials 38

Flux metals rotating in the core 38, 43

Fusing nucleus 37, 39, 42

Fuzzy Cognitive Maps (FCM) 51, 54, 61, 62

G

Geomagnetism 35, 36, 37, 38, 39, 40, 42, 43, 45, 47

Geração de energia 50, 51, 52, 60, 63, 64, 66

Geração distribuída 1, 2, 3

I

Ilhamento 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 29, 30, 33

Injeção de sinal de alta frequência 8

L

Large zones of non-detection 2

M

Mapas cognitivos fuzzy 49, 50, 51, 52, 54

Measurement 68, 77

Membrana metálica 66

Método de perturbação de fase 8, 9

Modelo de mineração de dados (DT, RF, SVM) 22, 24

P

Piezecerâmica 66

Processamento de sinal 1, 2, 4, 14, 19, 20, 21, 23, 24, 25

R

Rede de distribuição 1, 2, 3

Reference material 68, 73

S

Sistemas computacionais inteligentes em robôs 51

Sistemas Power Line Carrier Communication (PLCC) 5

T

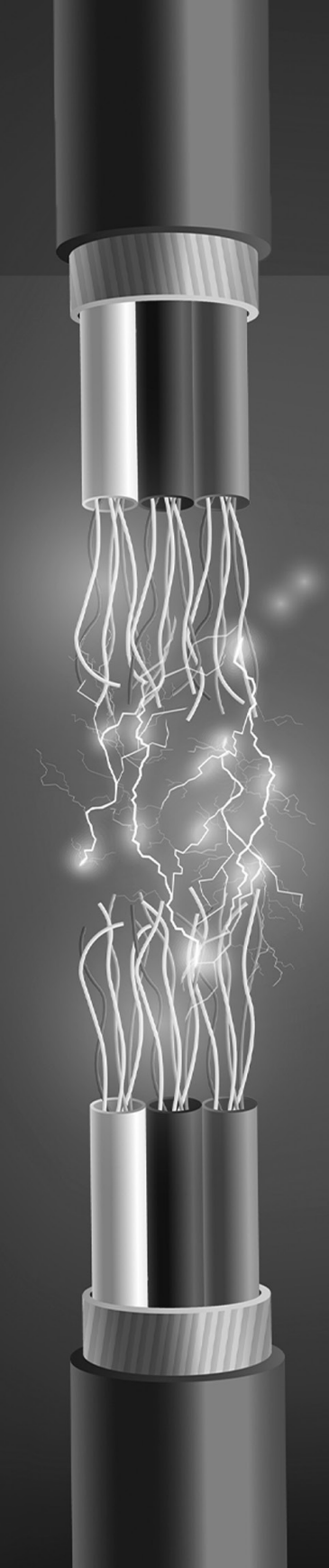
Testes elétricos de validação do produto (PCI) 87

Thermal conductivity 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 76, 77, 78

V

Validation 36, 68

Variação da potência ativa e reativa 8

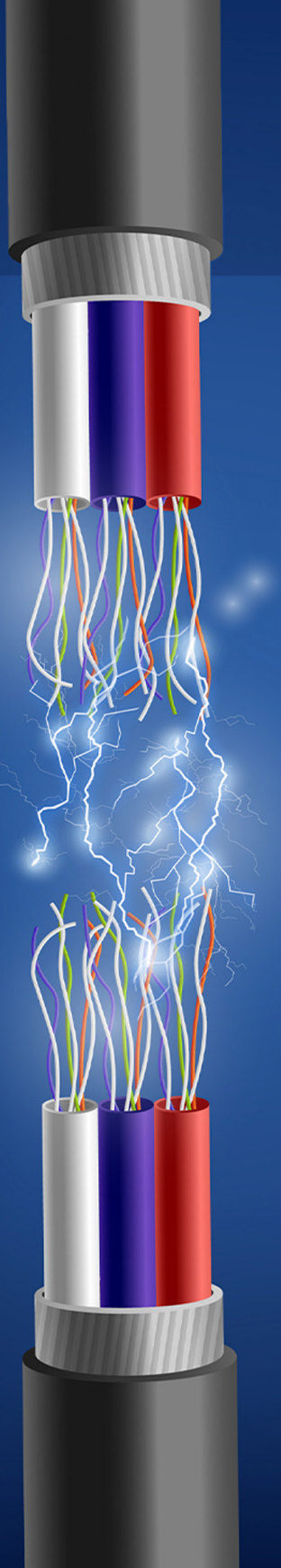


ENGENHARIA ELÉTRICA:

conceitos fundamentais e aplicações práticas

www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br
@atenaeditora
www.facebook.com/atenaeditora.com.br

Atena Editora
Ano 2023



ENGENHARIA ELÉTRICA:

conceitos fundamentais e aplicações práticas

www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br
@atenaeditora
www.facebook.com/atenaeditora.com.br

Atena Editora
Ano 2023